História da Ciência

Volume II
Tomo II

O Pensamento Científico e a Ciência no Século XIX

Carlos Augusto de Proença Rosa

2ª Edição

FUNDAÇÃO ALEXANDRE DE GUSMÃO

O desenvolvimento da Ciência pura e a crescente aceitação do pensamento científico no meio cultural caracterizam este período da Ciência Moderna, cuja função social é, por primeira vez, reconhecida nos círculos oficiais e pela opinião pública. Um grande progresso nas pesquisas, nos diversos ramos científicos, permitiria a ampliação do conhecimento dos fenômenos e a criação de novas áreas, como a Geometria não euclidiana, a Astrofísica, a Termodinâmica e o Eletromagnetismo, a Química Orgânica e a Química Industrial, a Microbiologia e Evolução. A Biologia se estruturaria e uma nova Ciência, a Sociologia, seria criada, incluindo, assim, os fenômenos sociais no âmbito da metodologia científica. Ciências auxiliares, mas não menos importantes que as fundamentais, se desenvolveriam (Geologia, Meteorologia, Mineralogia) ou seriam criadas (Arqueologia, Paleontologia, Antropologia, Psicologia), contribuindo para um melhor conhecimento do Mundo e do Homem. O autor assinala a importância das universidades, das academias e dos novos centros de pesquisa no desenvolvimento da Ciência Moderna.

HISTÓRIA DA CIÊNCIA
O Pensamento Científico
e a Ciência no Século XIX

Volume II

Tomo II

Ministério das Relações Exteriores



Ministro de Estado Embaixador Antonio de Aguiar Patriota
Secretário-Geral Embaixador Ruy Nunes Pinto Nogueira

Fundação Alexandre de Gusmão



Presidente Embaixador José Vicente de Sá Pimentel

Instituto de Pesquisa de
Relações Internacionais

Centro de História e
Documentação Diplomática

Diretor Embaixador Maurício E. Cortes Costa

A *Fundação Alexandre de Gusmão*, instituída em 1971, é uma fundação pública vinculada ao Ministério das Relações Exteriores e tem a finalidade de levar à sociedade civil informações sobre a realidade internacional e sobre aspectos da pauta diplomática brasileira. Sua missão é promover a sensibilização da opinião pública nacional para os temas de relações internacionais e para a política externa brasileira.

Ministério das Relações Exteriores
Esplanada dos Ministérios, Bloco H
Anexo II, Térreo, Sala 1
70170-900 Brasília, DF
Telefones: (61) 2030-6033/6034
Fax: (61) 2030-9125
Site: www.funag.gov.br

Carlos Augusto de Proença Rosa

HISTÓRIA DA CIÊNCIA
O Pensamento Científico e a Ciência no Século XIX

Volume II - Tomo II

2ª Edição



Brasília, 2012

Direitos de publicação reservados à
Fundação Alexandre de Gusmão
Ministério das Relações Exteriores
Esplanada dos Ministérios, Bloco H
Anexo II, Térreo
70170-900 Brasília – DF
Telefones: (61) 2030-6033/6034
Fax: (61) 2030-9125
Site: www.funag.gov.br
E-mail: funag@itamaraty.gov.br

Equipe Técnica:
Eliane Miranda Paiva
Fernanda Antunes Siqueira
Fernanda Leal Wanderley
Gabriela Del Rio de Rezende
Jessé Nóbrega Cardoso
Rafael Ramos da Luz
Wellington Solon de Souza Lima de Araújo

Capa:
Rafael Sanzio, *A Escola de Atenas*

Programação Visual e Diagramação:
Gráfica e Editora Ideal

Impresso no Brasil 2012

R788

ROSA, Carlos Augusto de Proença.
História da ciência: o pensamento científico e a ciência no século XIX / Carlos Augusto de Proença. — 2. ed. — Brasília : FUNAG, 2012.
3 v. em 4; 23 cm.

Conteúdo: v.1. Introdução geral; Tempos pré-históricos. — v.2. A ciência moderna. — v.3. A ciência e o triunfo do pensamento científico no mundo contemporâneo.

ISBN: 978-85-7631-395-3

1. Ciência moderna. 2. Pensamento científico. 3. Desenvolvimento da ciência. 4. Matemática. 5. Astronomia. 6. Física. 7. Química. 8. Biologia. 9. Sociologia. I. Fundação Alexandre de Gusmão.

CDU: 930.85

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Talita Daemon James – CRB-7/6078

Depósito Legal na Fundação Biblioteca Nacional conforme Lei n° 10.994, de 14/12/2004.

Plano Geral da Obra

VOLUME I

INTRODUÇÃO GERAL

Tempos Pré-Históricos

Capítulo I: A Técnica nas Primeiras Grandes Civilizações

Mesopotâmia

Egito

China

Índia

Outras Culturas Antigas (Hititas, Hebraica, Fenícia e Persa)

Capítulo II: A Filosofia Natural na Civilização Greco-Romana

A Civilização Grega e o Advento do Pensamento Científico e da Ciência

A Técnica na Cultura Romana

Sumário

VOLUME II – TOMO II

PARTE III

O PENSAMENTO CIENTÍFICO
E A CIÊNCIA NO SÉCULO XIX

Parte III

O Pensamento Científico e a Ciência no Século XIX

6.16 Considerações Gerais

A Europa ocidental continuaria por todo o século XIX como o principal centro produtor e irradiador do pensamento e do conhecimento científicos e de sua aplicação em prol da Humanidade. Em outras palavras, o reconhecimento de uma metodologia, e de seus procedimentos, para o avanço do conhecimento, e a estreita e inovadora vinculação da Ciência com a Técnica gerariam um extraordinário surto tecnológico, na segunda metade do século, responsável, em parte, pelas profundas mudanças ocorridas na Sociedade nessa fase. Circunscritas, inicialmente, a alguns reinos da Europa ocidental, tais mudanças se propagariam, inicialmente, aos países da Europa central e Escandinávia, para depois atingir, ao final do século, os reinos da Europa oriental.

As realizações decorrentes das profundas transformações da Sociedade europeia, admiradas por todos, se imporiam, gradualmente, a todas as culturas e a todos os povos dos demais continentes, dependentes, em escalas diferentes, do grande poder político, econômico e militar das potências europeias.

A disseminação dessa cultura, imposta a alguns e absorvida ou importada por outros povos, inauguraria um novo processo que seria um dos traços marcantes do século. Os padrões europeus seriam exportados por meio da prática do colonialismo ostensivo ou de uma influência sutil, encoberta pela expansão comercial e creditícia. Suas decisões políticas,

doutrinas sociais, teorias econômicas, manifestações culturais, descobertas científicas e inovações tecnológicas se imporiam no Mundo e serviriam de modelo e de guia em todos os continentes.

O século XIX foi, contudo, o último século desse grande predomínio incontrastável e incontestável de âmbito mundial da Europa. O poder, a influência e a presença marcantes em todos os domínios continuariam a ser da maior relevância para o progresso da Humanidade, porém outros centros disputariam, a partir do início do século XX, principalmente depois da Primeira Guerra Mundial, a supremacia política, econômica, militar, científica e tecnológica, como os EUA, a URSS e o Japão. Assim, de uma posição de virtual monopólio, a Europa teria de enfrentar a concorrência, em alguns casos em situação desvantajosa, de países que disputavam a liderança no Mundo.

Um extraordinário desenvolvimento nos vários domínios moldaria a nova Sociedade europeia, após as guerras napoleônicas, totalmente diferente, por qualquer critério, daquela que predominara anteriormente. Sob qualquer ângulo que se examine o processo evolutivo dos países da Europa no século XIX, é patente a grande transformação havida, que, por sua vez, estabeleceria, no curto prazo de alguns decênios, uma Sociedade dinâmica, empreendedora, criativa, industrial, confiante na Ciência e crente no Progresso.

O agravamento e a complexidade dos problemas sociais enfrentados por uma Sociedade em gestação eram, cada vez mais evidentes e perigosos, pondo em risco a unidade política e religiosa, tão característica das épocas anteriores. A problemática do século XIX adquiria uma dimensão e uma profundidade social imprevistas por seus iniciadores teóricos nos séculos anteriores. Doutrinas sociais, políticas e econômicas procurariam dar uma resposta adequada aos crescentes problemas que a Sociedade enfrentava, decorrentes, entre outras causas, da explosão demográfica, urbanização descontrolada, êxodo rural, mecanização industrial, desemprego, má distribuição de renda, concentração de capital, manutenção de privilégios, exploração de trabalho infantil e de mulheres. A aparente contradição entre Capital e Trabalho se agravaria, dando mais dramaticidade ao conflito numa fase de afirmação capitalista.

O processo de tão profunda e rápida transformação da Sociedade seria doloroso, conflitivo e contraditório. A burguesia, aliada ao grande capital financeiro, comercial e industrial, assumiria o controle administrativo da máquina governamental, via presença maciça na crescente burocracia estatal, exacerbando o antagonismo com os movimentos populares, cujas reivindicações, que antes sustentara, agora entrariam em confronto com os novos interesses da recente classe abastada. A ascensão da burguesia, como classe dirigente, coincidiria com

a vitória do capitalismo sobre o feudalismo e o mercantilismo, com graves e inevitáveis consequências sobre a ordem pública e social. O progresso da técnica industrial diminuiria o número de artesãos e reduziria o trabalho em domicílio e em pequenas oficinas enquanto aumentaria o de operários nas fábricas e o emprego de máquinas. No processo, a "Segunda Revolução Industrial" seria responsabilizada pela amplitude e gravidade dos conflitos de classes, posto que seus benefícios não se estendiam aos grandes e crescentes contingentes das massas trabalhadoras, que lutavam por direitos iguais e pela abolição de discriminações.

A aguda questão social, cuja repercussão atingia todos os segmentos da Sociedade, era debatida e objeto de estudos, entre outros, por filósofos, intelectuais, escritores, políticos, industriais e trabalhadores, todos interessados no encaminhamento de solução segundo seus interesses e ideais. Impunha-se, de acordo com a nova visão de uma Sociedade confiante na Ciência, a adoção de tratamento científico desses problemas, num domínio até então entregue à especulação, à improvisação e ao empirismo. A gravidade do problema, que correspondia à introdução de novas bases na formação de uma nova Sociedade que inaugurava, portanto, uma nova era, requeria a adoção de análise metodológica do problema social.

O novo espírito rejeitava, como imprópria, inadequada e equivocada, qualquer tentativa, para a solução de assuntos pertinentes à Sociedade Humana, de recurso à intervenção de entidades sobrenaturais ou de resignação às condições vigentes, na expectativa de uma vida futura melhor e mais justa. Era convicção generalizada, e vitoriosa, de que os fenômenos sociais, como os físicos, químicos e biológicos, seriam passíveis de abordagem metodológica científica. Embora de maior complexidade e grande generalidade, a natureza estritamente humana dos fenômenos sociais significava, portanto, que seu estudo analítico e seu encaminhamento deveriam ser obra exclusiva do Homem, dispensando, assim, necessariamente, a subordinação dos assuntos sociais a justificativas teológicas e metafísicas. Em decorrência, seria criada, em meados do século XIX, e se desenvolveria uma nova Ciência, a Sociologia, com o objetivo específico de analisar os fatos sociais, com vistas ao encaminhamento fundamentado de solução para os problemas da Sociedade.

A consciência da grande dimensão e importância dos fenômenos sociais, passíveis da ação humana em prol da Sociedade, representaria, dado seu extraordinário significado na evolução do pensamento humano, uma fantástica mudança introduzida pela Sociedade industrial do século XIX em relação a épocas passadas, e se constituiria no triunfo do pensamento científico no trato das questões terrenas e humanas.

Quatro grandes doutrinas, que procurariam explicar tais fenômenos sociais e apresentar adequado encaminhamento de soluções, podem ser identificadas: i) a liberal, oriunda de Montesquieu, Adam Smith e Rousseau, era, no campo econômico, favorável à liberdade comercial e à competição no processo de formação da riqueza. Não haveria contradição entre Capital e Trabalho, pelo que as "forças de mercado" se encarregariam de corrigir distorções, sem necessidade de intervenção do Estado, o qual deveria ter funções mínimas e específicas. Os fenômenos econômicos seriam, assim, considerados fora do âmbito social; ii) a socialista, crítica do Capitalismo e do Liberalismo, pregava uma reforma da Sociedade pela solução da "questão social", por meio da ação do Estado. Saint-Simon, Fourier, Proudhon, Louis Blanc e Robert Owen foram seus mais conhecidos defensores; iii) a comunista, que colocaria a propriedade privada na origem da "luta de classes" e numa oposição fundamental entre empresários e proletários. A ascensão social da classe trabalhadora se daria, necessariamente, de forma revolucionária, uma vez que os detentores do Capital, usurpadores dos meios de produção, só deixariam de explorar o Trabalho ao serem retirados do Poder pela força. Marx e Engels, em seu *Manifesto Comunista*, de 1848, foram seus fundadores; e iv) a progressista, que admitia a conciliação futura entre os interesses dos empresários e dos trabalhadores, já que o antagonismo seria temporário e secundário, e defendia a propriedade privada, que deveria ter uma função social, e não se transformar em mero agente de "lucro" e "exploração"; rejeitava, assim, a tese liberal, tanto da liberdade e da concorrência para o desenvolvimento da produção quanto do papel secundário do Estado nos problemas sociais. Essas doutrinas, nascidas e desenvolvidas ao longo do século XIX, estabeleceriam acirradas divergências e sérias confrontações no terreno das ideias e no plano político, e criariam um clima de aberto antagonismo entre defensores e detratores, que continuaria, e até se agravaria, no século XX.

Além dessas, outras doutrinas sociais tiveram repercussão e influência no século XIX, como a "sindicalista", do italiano Labriola e do francês Sorel; a "anarquista", dos russos Bakunin e Kroptkin; e a "social da Igreja", consubstanciada na encíclica *Rerum Novarum* (1891), do Papa Leão XIII.

Movimentos de inspiração liberal, no início, e de cunho socialista e nacionalista, na segunda metade do século, se alastrariam pelo continente, por meio de manifestações, algumas vezes violentas, com o objetivo de forçar a aceitação, pelos governantes e grandes empresários, de suas reivindicações. Conquistas, como a da liberdade de expressão e de consciência; a da igualdade jurídica e dos direitos civis e sociais, sem discriminação pela raça, sexo e religião; a da criação de partidos políticos atuantes em Assembleias Legislativas; a da formação da opinião pública, possibilitada por uma imprensa diária; e a da separação do Estado e da Igreja, inclusive com a quebra do monopólio

educativo, nos níveis primário e médio, das instituições religiosas, seriam vitórias expressivas de uma emergente Sociedade que repelia antigos valores, contrários a seus atuais interesses e à sua nova mentalidade. A burguesia, classe dinâmica, se apossaria do Poder, ocuparia as posições de mando, se infiltraria nos meios intelectuais e se aliaria a segmentos da antiga aristocracia, vindo a ser a primeira e a grande beneficiária do grande progresso material do século XIX.

Tal efervescência social conturbaria, necessariamente, o ambiente em diversos domínios, principalmente nos centros urbanos, nos quais se concentrava o poder político e econômico da nação, decorrente do acelerado processo de industrialização.

Parte da população urbana se constituía da emergente classe da burguesia, integrada pelos chefes da grande indústria, do comércio e das finanças; pelos profissionais liberais, professores, magistrados e intelectuais; e por graduados funcionários públicos e militares, beneficiários diretos do novo quadro social e econômico. Com o desenvolvimento da Ciência e da técnica industrial, principalmente a partir da segunda metade do século, novas e melhores condições de vida tornariam o cotidiano das classes abastadas mais confortável. Vestuário mais luxuoso; mais amplas residências; diversificada e mais abundante alimentação; melhor e mais rápido transporte urbano e de longa distância; inovações em comunicações (telegrafia, telefonia) e na iluminação (elétrica, no final do século) pública e particular; urbanização das grandes cidades, com abertura de avenidas e parques e pavimentação de ruas; melhoria na saúde pública; prática do lazer (com veraneio nas praias, estações termais, desportos, viagens, turismo e passeios de fim de semana, divertimentos, como teatro, ópera, bailes, concertos e cinema); maior interesse intelectual e artístico (leitura de livros e jornais, frequência em exposições e conferências e aquisição de obras de arte) foram algumas das mudanças significativas das condições de vida da "alta burguesia". A "pequena burguesia", formada de pequenos lojistas, empregados e funcionários subalternos, usufruiria marginalmente desses benefícios, sem alterar, contudo, seus hábitos tradicionais. Sem meios para sustentar um padrão de vida mais elevado, contentava-se com os divertimentos populares tradicionais.

Com exceção da britânica, a maioria da população europeia permaneceria, contudo, no campo, em atividades pouco rentáveis, recebendo, com atraso e de forma diluída, os benefícios advindos da Revolução Industrial. Apesar de permanecer a agricultura como o setor menos dinâmico da economia, ocorreu, em meados do século, uma grande transformação no campo de extraordinário alcance social, político e econômico. Com a abolição, na Rússia, em 1861, da servidão rural,

terminaria o feudalismo na Europa. A partir daí, toda mão de obra rural europeia passou a ser assalariada ou proprietária de pequena extensão de terra. A melhoria na condição do trabalhador rural traria uma relativa paz social ao campo. Conservador e tradicionalista, o camponês continuaria ignorante e submisso, preso à terra e apegado à religião, sem participar dos movimentos urbanos de caráter social.

Os operários das fábricas e os trabalhadores da cidade amargariam duras condições de vida, em péssimos ambientes de trabalho, sem higiene e sem amparo legal; a taxa de acidentes de trabalho e de mortalidade era elevada. No entanto, diferentemente do camponês, o trabalhador urbano tinha noção de sua condição inferior nos planos social, político e econômico, e estava consciente da discriminação jurídica, o que o levaria a apoiar movimentos políticos e sociais em defesa dos interesses de sua classe. Ao final do século, e a começar pela Grã-Bretanha, seriam formados sindicatos e *trade unions* de trabalhadores do mesmo ramo industrial com o propósito de aumentar seu poder de reivindicações.

Essas importantes transformações no quadro social, que geraram crises econômicas e conflitos políticos, e que subverteram tradições e arraigados princípios éticos e religiosos, se iniciaram nos países da Europa ocidental, mas inevitavelmente influiriam, de forma decisiva, ainda no século XIX, nos processos evolutivo social, político, cultural e econômico dos demais países da Europa, da Ásia e das Américas.

No plano político, a antiga estrutura de Poder do Estado já não correspondia à nova composição de forças de uma Sociedade capitalista e industrial, tornando-se, no entendimento de muitos, um óbice para o pleno desenvolvimento da nação. Assim, reformas profundas e urgentes seriam propostas com o objetivo de adaptar o Estado a uma nova realidade social, estabelecendo-se, em consequência, um clima de confrontação e antagonismo.

Na primeira metade do século, as potências vitoriosas nas guerras contra Napoleão impuseram, no Congresso de Viena (1814-1815), medidas para conter a expansão dos ideais revolucionários e para assegurar a legitimidade do poder absoluto do Rei. A reação absolutista, apoiada pela nobreza e pelo Alto Clero, negava poder político ao povo, procurava restaurar o "Antigo Regime" e revogar pequenas conquistas recém-obtidas pela burguesia e pelo proletariado urbano. O mapa europeu seria, igualmente, redesenhado segundo os interesses das Casas governantes, sem atentar para a opinião pública das regiões afetadas. Uma série de movimentos, de cunho liberal e nacionalista, contrários a esse estado de coisas imposto pela força, explodiria em vários países: nos anos 20, na Grécia, Portugal, Espanha, Confederação da Alemanha e

Estados italianos; nos anos 30, na França, Bélgica, Polônia, Confederação da Alemanha, Portugal, Espanha e reinos da Península itálica; e nos anos 40, na França, nos reinos alemães e italianos.

Nas colônias das Coroas espanhola e portuguesa da América, ganhariam força os movimentos libertários, de inspiração liberal e nacionalista, dos quais resultariam a independência do Paraguai (1811), Argentina (1816), Chile (1818), Colômbia (1819), Venezuela (1821), México (1821), Brasil (1822), Peru (1824), Uruguai (1825), Bolívia (1825), Equador (1830), Guatemala, Honduras, Salvador e Nicarágua (1839) e República Dominicana (1844), que adotaram, de início, com exceção do Brasil, o regime republicano. A perda de suas colônias americanas significou um forte golpe nas pretensões, da Espanha e de Portugal, de manter um vasto império colonial, tornando-os meros figurantes da política internacional. Por outro lado, a França acalentaria o sonho de criação de um império colonial, conquistando, na África, o Senegal e a Argélia, enquanto a Grã-Bretanha se interessaria pela região Sul do continente, com a ocupação de Natal e Cabo, e, na Ásia, ocuparia o Punjab, na Índia, e a ilha Maurício, no Oceano Índico. Estaria, assim, iniciado um segundo ciclo de conquistas coloniais pelas potências europeias, na África e na Ásia, com o objetivo de obter matérias-primas e mão de obra baratas para suas indústrias, e de abrir mercados para suas manufaturas e rendosos investimentos financeiros.

Na segunda metade do século, os ideais nacionalistas promoveriam os movimentos vitoriosos de 1870, de unificação dos reinos da Itália e da Alemanha, sob as dinastias de Saboia e Hohenzollern, respectivamente, enquanto a França de Napoleão III, derrotada na guerra franco-prussiana, instituiria o regime republicano, o qual, na Europa, era adotado unicamente pela Suíça. A integridade do Império Otomano, alvo dos interesses conflitantes das potências europeias, seria defendida na Guerra da Crimeia (1853-1856) pela França, Grã-Bretanha e Piemonte, contra a expansão russa para acesso ao Mediterrâneo, mas, na chamada "crise oriental" (1875-1878), começaria o esfacelamento do Império Otomano em Estados, com base nas nacionalidades não turcas; foram, assim, criados os Estados independentes da Bulgária, da Romênia, de Montenegro e da Sérvia, e a cessão da Bósnia e Herzegovina para a administração austríaca. O mapa político europeu dos anos 70 já não correspondia ao que fora traçado (1815) após a derrota de Bonaparte.

No âmbito interno, desenvolveu-se nos países da Europa ocidental e Escandinávia um regime político de tendência liberal, parlamentarista. A formação de opinião pública e a veiculação diária de uma imprensa que se ocupava dos grandes temas do momento contribuiriam para a formação

de partidos políticos, cujas plataformas buscavam representar segmentos da população. O sistema eleitoral continuaria, porém, elitista e censitário, limitado aos proprietários e detentores de uma determinada renda mínima; o voto feminino e de caráter universal só seria obtido no século seguinte. Nos demais países europeus, prevaleceria um regime absolutista, em que o poder efetivo se concentrava no Monarca, o qual dispunha de uma Assembleia ou Dieta, normalmente integrada por elementos escolhidos nas classes dominantes, que servia para coonestar suas decisões. As conquistas políticas nesses países seriam, assim, reduzidas e limitadas, insuficientes para atender a um mínimo das reivindicações da burguesia e do proletariado urbano.

No âmbito internacional, crescentes interesses comerciais, financeiros e estratégicos seriam determinantes na execução de uma política imperialista pelas grandes potências europeias, refletida na conquista e na ocupação de extensas áreas, algumas densamente povoadas, nos diversos continentes. Em consequência, se formaram vastos e poderosos impérios coloniais, com as conquistas da Grã-Bretanha (Uganda, Quênia, Gana, Nigéria, Serra Leoa, Gâmbia, Zâmbia, Zimbábue, Botsuana, Lesoto, Suazilândia, Malaui, Birmânia, Índia, Ceilão, Nova Zelândia, Austrália, Canadá, Guiana Inglesa, e ilhas no Caribe e no Pacífico sul); da França (Tunísia, Madagascar, Congo, Gabão, Costa do Marfim, Chade, República Centro Africana, Níger, Máli, Mauritânia, Benin, Indochina, Camboja, Guiana Francesa, ilhas no Caribe e no Pacífico sul); da Alemanha (Togo, Camarões, Namíbia, Tanganica); da Itália (Eritreia, Somália); da Bélgica (Zaire); e dos Países Baixos (Indonésia, Papua Nova-Guiné, Guiana Holandesa, e ilhas no Caribe e no Pacífico sul). Esses novos impérios se juntaram, assim, aos já reduzidos e irrelevantes, mas outrora importantes impérios, espanhol e português. O Canal de Suez (1869), ao encurtar a rota marítima da Europa para o Extremo Oriente, teria um grande valor estratégico, ao facilitar o acesso das potências coloniais à costa oriental da África, ao Oceano Índico, à Ásia e ao Oceano Pacífico, aumentando, ainda mais, sua capacidade competitiva comercial e sua autoridade política.

Ao final do século, Grã-Bretanha, França e Alemanha seriam as potências dominantes; a Rússia buscaria intrometer-se no jogo político europeu; o Império Austro-Húngaro perderia sua posição tradicional de grande centro de poder político; os Países Baixos e Bélgica se manteriam como dinâmicos centros comerciais e industriais; o Império Otomano começaria a se desintegrar, perdendo qualquer relevância internacional; e os demais países, sem pretensão hegemônica, se limitavam a estabelecer alianças convenientes a seus interesses.

Fora da Europa, os EUA, que, desde a Doutrina Monroe (1823), a guerra contra o México (1846-1848), a descoberta de ouro na Califórnia, a conquista do oeste, a abertura dos portos japoneses para seu comércio (1854) e a descoberta do petróleo, despontava como potência econômica e militar, passaria a adotar uma postura ostensivamente intervencionista, com a anexação de Porto Rico, Havaí e as Filipinas, em 1898, e intervenção em Cuba. Na Ásia, o Japão, até então contrário a qualquer influência estrangeira, iniciaria um ciclo, conhecido como "Era Meiji" (1868-1912), de reformas profundas com um programa de modernização das estruturas do Estado, de absorção das inovações tecnológicas ocidentais, e de acelerado desenvolvimento econômico, enquanto a China, sujeita a um sistema confuciano de mandarinato, seria palco da Guerra do Ópio (1840-1842) com a Grã-Bretanha e das pressões de potências estrangeiras, e seria forçada a assinar vários "tratados desiguais" de concessões comerciais e portuárias e de jurisdição legal com potências europeias que atentavam contra sua soberania. Continuaria a China, contudo, com uma política de preservação de sua tradicional cultura, e contrária a qualquer influência estrangeira, mas sem adotar efetivas medidas corretivas que pudessem evitar eventual esfacelamento do Império. O movimento reformista do Imperador Kuang-Hsu, que poderia ter iniciado na China um período de modernização e progresso, como o do Meiji no Japão, duraria apenas cem dias, terminado com o golpe de Estado promovido pela Imperatriz viúva Tzu-Hsi. Todos os reinos e povos do continente africano, com exceção da República da Libéria, Etiópia e Egito, formalmente independentes, estavam inteiramente submetidos, como colônia ou protetorado, a alguns países europeus.

No campo da economia, duas fases distintas podem ser detectadas: a primeira, de pessimismo; e a segunda, de otimismo, quanto às perspectivas econômicas futuras da Humanidade.

No final do século anterior (1798), Thomas Malthus denunciara a situação de calamidade a que chegaria o Mundo no futuro caso persistisse a situação de crescimento demográfico superior à da capacidade de oferta de alimentos. Os graves problemas sociais, políticos e econômicos, decorrentes do agudo antagonismo entre Capital e Trabalho e do doloroso processo de transformação de uma Sociedade feudal em capitalista, justificavam o pessimismo de certos círculos, já que eram reduzidas e limitadas as vantagens auferidas da Primeira Revolução Industrial. As crescentes contradições e desigualdades estabeleceriam um clima de enfrentamento, reforçando, desta forma, o pessimismo quanto ao encaminhamento de soluções para um premente problema de graves consequências.

Principalmente a partir dos anos 60, o quadro se reverteria devido ao extraordinário desenvolvimento na agricultura, no comércio e na indústria da Europa e dos EUA. Uma nova fase de otimismo e euforia substituiria a anterior, de pessimismo e frustração. A crença no progresso, impulsionado pela Ciência, seria a característica de uma fase de prevalência de teorias liberais que favoreceriam a expansão, em escala mundial, do comércio e das finanças dos grandes centros industriais. Entre 1860 e 1870, foram assinados, pelos países europeus, mais de 100 tratados comerciais de redução de tarifa de importação e com cláusula de "nação mais favorecida". Tal orientação de livre comércio seria, contudo, de pouca duração, devido ao desdobramento de formação e concentração de riqueza no interior dos próprios países.

O liberalismo econômico, patrocinado pela Grã-Bretanha, geraria uma tendência ao surgimento de grandes complexos industriais e financeiros em detrimento das pequenas empresas. Ao mesmo tempo em que se formava um sistema bancário nacional, vultosos recursos financeiros, requeridos pelas empresas de mineração, de navegação, de transporte ferroviário urbano e de longa distância, da metalurgia, de armamentos, da indústria química e outras eram adiantados, em forma de crédito de longo prazo, pelas instituições bancárias; as ações emitidas pelas empresas eram negociadas em "Bolsas". Essas grandes empresas industriais tenderiam a dividir entre elas o mercado, fixando preço e impedindo o ingresso de concorrentes. O processo de "cartelização" prosperou a tal ponto que motivaria uma reação de governos, como a adotada nos EUA, com a Lei Shermann (1890), considerando ilegais os *trusts*. O oligopólio, e em alguns casos o monopólio, tendia, no entanto, a sacrificar a livre concorrência, reduzindo, sobremaneira, a capacidade de industrialização e de investimento dos chamados países periféricos, além de afetar o próprio processo industrial nos demais países em franca expansão econômica. A liberdade comercial, apregoada, mas não aplicada, pelos países recém-industrializados, seria sacrificada por uma política protecionista, por meio da elevação da tarifa alfandegária (Tarifa McKinley, de 1890). Uma política creditícia com vistas à exportação do capital excedente, gerado pelo aumento de produção agrícola e industrial, levaria ao endividamento, descapitalização e dependência dos países devedores, transformando-os, igualmente, em mercado consumidor para os produtos que encontravam barreiras comerciais em mercados de outros países industrializados. A teórica livre-concorrência se transformaria, no tempo, em crescente e agressiva competição entre as grandes potências econômicas, que resultaria na formação de alianças e "ententes" no âmbito internacional, prévias à conflagração de 1914/18.

Estreita e direta vinculação da Ciência com o processo produtivo, inovações tecnológicas, introdução de novos produtos no mercado, melhoria da qualidade dos artigos de consumo doméstico, conquista de novas áreas para produção agrícola, novas técnicas e métodos de trabalho e de produção, acesso rápido e eficiente à matéria-prima, e grandes investimentos públicos e privados na infraestrutura (comunicações, transporte, energia, saneamento) foram alguns dos determinantes do acelerado desenvolvimento econômico dos países que se beneficiaram da Segunda Revolução Industrial.

Assim, o desenvolvimento de novos métodos na siderurgia (Bessemer, Siemens-Martin, Gilchrist) de conversão do ferro em aço permitiria sua utilização, em larga escala e a baixo custo, em vários campos (ferrovia, construção civil, máquinas e ferramentas industriais e agrícolas); novas fontes de energia (carvão de coque, eletricidade, petróleo) seriam desenvolvidas, redundando em significativas inovações nos transportes (trens, navios a óleo diesel, automóveis a gasolina) e nas comunicações (telefone, cinema, telégrafo sem fio, rádio, linotipo, cabos submarinos). Surgiria uma potente e diversificada indústria química, responsável pelo avanço nos setores farmacêutico, de corantes e tintas, e de adubos e fertilizantes; a indústria alimentícia, agora com produtos enlatados, e em franca expansão diversificada, desmentia as sombrias previsões maltusianas; a indústria gráfica cresceria para atender à crescente demanda por livros, jornais e revistas, e a indústria de armas e equipamentos militares, com o apoio do Estado, se tornaria, em pouco tempo, um dos motores do desenvolvimento industrial e de significativa importância no comércio mundial. O elevador, a máquina de escrever, a máquina de costura, a fotografia, o cinema, a bicicleta, implementos agrícolas, materiais de construção, instrumentos de precisão e lentes seriam aperfeiçoados, criando oportunidades de investimento e de comércio. A anestesia foi posta a serviço da Medicina e da Odontologia.

Na esfera religiosa, a grande maioria da população continuaria a tradição de muita religiosidade e fé, preservando as crenças e a fidelidade espiritual de seus antepassados. Esse elevado grau de religiosidade assegurava o poder espiritual das Igrejas, que o exerciam com dedicação e eficiência. O Clero patrocinava obras sociais e de caridade, defendia os hábitos e costumes regionais, mantinha estreito contato com a comunidade e rivalizava, em influência e prestígio, com os representantes do Poder temporal. Procissões, bênçãos, quermesses, romarias e festas especiais contribuíam para estabelecer um relacionamento intenso do crente com sua Igreja. As paróquias e as instituições das Igrejas velavam para que seus preceitos morais e regras de

conduta social e pessoal não fossem transgredidos, e que seu poder espiritual não fosse contestado. As autoridades eclesiásticas, como importantes personalidades da Sociedade nacional e local, ocupavam posição de destaque nas solenidades oficiais e nas inaugurações e aberturas de importantes eventos, públicos ou particulares, numa demonstração de seu apoio e aprovação. A Religião se fazia presente, assim, na vida diária do cidadão e da comunidade, fosse em país católico, ortodoxo ou protestante, participando, inclusive, direta ou indiretamente, de decisões em assuntos de Estado. A ingerência religiosa, buscando impedir pesquisas e contestar estudos científicos em áreas que pudessem contrariar dogmas e ensinamentos teológicos, criaria um crescente fosso entre a Religião e a Ciência, que se tornaria, no final do século, mais evidente no campo da Biologia e da Sociologia. Ainda que a Fé religiosa passasse a ser aceita como um assunto de foro íntimo do indivíduo, que não deveria interferir no exame de questões científicas, perduraria, no século XIX, um antagonismo entre esses dois campos, que só viria a se reduzir, aparentemente, no século XX.

Nos círculos intelectuais, artísticos, universitários e de crescentes segmentos da aristocracia e da alta burguesia, havia, no entanto, uma crítica e oposição a essa situação de privilégio. Agnósticos, ateus e livres-pensadores, em números cada vez mais crescentes, defenderiam, em aliança com os movimentos liberais e teses socialistas, a separação do Estado e da Igreja, a liberdade de culto e a quebra do virtual monopólio da instrução primária pelas instituições religiosas. Ao final do século, essas teses estariam vitoriosas na maioria dos países da Europa ocidental, Escandinávia e Américas.

No domínio cultural, haveria também uma profícua e valiosa atividade voltada para satisfazer as preferências de uma classe em ascensão e expressar as condições de vida burguesa. As manifestações artísticas estavam voltadas, principalmente, para agradar ao gosto de uma classe ávida por escalar os degraus sociais, sendo o conhecimento e a apreciação da Arte uma evidência de sofisticação cultural e de ascensão social. O requinte, o luxo e o gosto apurados da classe aristocrática eram motivos de inveja e, ao mesmo tempo, modelo a copiar. Pertencentes, em sua maioria, à classe média, os artistas passariam a intérpretes dos interesses, das preocupações, das prioridades, dos anseios e das pretensões de uma classe que, além do mais, se tornava importante mercado das suas obras literárias e artísticas. Museus, galerias de arte e gabinetes de leitura se multiplicavam, exposições, concertos, teatro e ópera eram frequentados por crescente número de apreciadores; prêmios eram distribuídos e os artistas ganhavam fama, prestígio e dinheiro. Abandonando o estilo (acadêmico, rococó, Barroco e neoclássico) e os temas (antiguidade grega e romana,

religioso) do classicismo literário e artístico, tão a gosto da aristocracia do Antigo Regime, os artistas do período dariam ênfase, em suas obras, aos temas sociais, à vida mundana, aos lances amorosos, aos assuntos da atualidade, às manobras políticas. O período seria palco de movimentos culturais que encontrariam expressão nas Escolas, conhecidas, entre outras, como Romantismo, Realismo, Impressionismo e Simbolismo; ao final do século XIX e início do XX, teria grande popularidade o estilo chamado de *art nouveau*, em especial na arquitetura e na arte decorativa.

A grande atividade cultural não se destinava, porém, apenas às classes abastadas. Manifestações artísticas, no campo do teatro, da dança, da música, da literatura e das artes plásticas, voltadas para o gosto da emergente pequena burguesia e do proletariado urbano, ganhariam espaço e gozariam de grande popularidade. A melhoria das condições de vida, os recém-adquiridos momentos de lazer e de descanso, e a universalização da instrução permitiriam o surgimento de um público disposto a apreciar expressões artísticas voltadas, algumas delas, para seu Mundo.

Como nos demais domínios, a Europa continuaria como o grande centro de irradiação cultural. As Escolas artísticas aí se formaram e se desenvolveram; seus artistas adquiriam fama mundial e eram homenageados em toda parte; suas obras literárias, musicais, teatrais, de escultura e pintura eram apreciadas e serviriam de inspiração a artistas de outros continentes; e sua enorme influência na formação cultural e artística dos países seria reconhecida.

Um grande número de literatos e artistas, de imenso valor na História da Arte, poderia ser aqui relacionado, mas, de uma longa lista, apenas alguns nomes representativos da evolução artística no século XIX serão citados. Assim, caberia mencionar, na Literatura: Balzac, Walter Scott, Dickens, Chateaubriand, Byron, Stendhal, Vitor Hugo, Goethe, Jane Austen, Keats, Stevenson, Heine, Grimm, Dostoievski, Dumas, Maupassant, Zola, Anatole France, Tolstoi, Manzoni, D' Annunzio, Julio Verne, H.G. Wells, Garret, Eça de Queiroz, Guerra Junqueiro, Castro Alves, Machado de Assis, Rubem Dario, Andrés Bello, Longfellow, Walt Whitman; no Teatro: Ibsen, Oscar Wilde, Checov; na Música: Beethoven, Chopin, Schubert, Weber, Mendelsohn, Liszt, Rossini, Paganini, Schumann, Brahms, Verdi, Smetana, Debussy, Tchaikovsky, Strauss, Wagner; na Escultura: Rauch, Carpeaux, Canova, Rodin; e na Pintura: David, Ingres, Goya, Delacroix, Manet, Degas, Monet, Renoir, Sisley, Van Gogh, Toulouse-Lautrec, Turner, Whistler, Klimt.

Desse novo contexto social, político, econômico, cultural, religioso e tecnológico, de características diversas das do Século das Luzes e

épocas anteriores, mas delas decorrente, se desenvolveria um "espírito científico" na linha de grandes pensadores do passado, como Galileu, Bacon, Descartes, Newton, Hume, Lavoisier, Diderot, Condorcet e Kant, que conduziria a Ciência, no século XIX, a extraordinário progresso em benefício da Humanidade.

6.17 Panorama Geral do Desenvolvimento da Ciência

O processo evolutivo da Ciência atingiu, na segunda metade do século XIX, uma nova fase, a qual pode ser qualificada de "positiva", pelas características que assumiu, as quais a distinguem da de épocas anteriores. A gradual incorporação, inicialmente nos meios intelectuais, de um pensamento científico, tem um profundo significado histórico, pois representaria a rejeição de pressupostos falaciosos, especulações fantasiosas e preceitos arbitrários como bases da Ciência em favor de uma metodologia estritamente científica para o estudo dos fenômenos físicos, humanos e sociais. O consequente avanço extraordinário no conhecimento teórico científico, e de sua aplicação em benefício da Sociedade, a partir de novas e firmes bases, será um dos aspectos mais importantes do progresso do espírito humano, e, em definitivo, uma significativa marca da História Universal.

Alguns dos principais aspectos característicos da Ciência no século XIX devem ser sublinhados de forma a dar o necessário realce às novas condições em que se desenvolveu, em ritmo acelerado, o conhecimento científico, num quadro ampliado das Ciências fundamentais e demais Ciências auxiliares.

O primeiro aspecto a comentar é o resultante da mudança mental, em particular de um crescente número de integrantes da comunidade intelectual, quanto ao relacionamento da Ciência com a Teologia. Até então, existia uma vinculação de virtual dependência ou subordinação da Ciência, pois as autoridades eclesiásticas, ciosas de seu poder espiritual, de sua capacidade de persuasão e de sua influência na máquina do Estado, e temerosas do progresso de ideias e conceitos que colocariam, em tela de juízo, seus ensinamentos, foram capazes de criar uma série de empecilhos e obstáculos para dificultar o pleno desenvolvimento do espírito científico e dos diversos ramos da Ciência.

A quase totalidade dos filósofos naturais, até o século XVIII, professava, com fervor, sua crença religiosa, realizando pesquisas científicas no intuito de glorificar a perfeição da obra divina. As imensas

contribuições para a Ciência, de um Kepler, de um Boyle, de um Pascal ou de um Newton, tiveram esse objetivo, sendo aceitas, ou não rejeitadas, pela hierarquia eclesiástica. Qualquer desvio filosófico no particular punha em risco a divulgação da obra ou a segurança do autor (Giordano Bruno, Galileu, Descartes). Ao mesmo tempo, a História da Ciência registra um grande número de ilustres cientistas pertencentes ao Clero (Nicole d'Oresme, Nicolau de Cusa, Alberto Magno, Copérnico, Gassendi, Mersenne, Kircher, Steno, Nollet, Haüy, Bolzano, Saussure, Mendel), cujas valiosas contribuições para o desenvolvimento científico não pode ser minimizado. Tais atividades eram, contudo, permitidas, desde que suas conclusões não contrariassem dogmas religiosos.

O espírito metafísico, dominante até o final do século XVIII, guiara as pesquisas científicas dessa época, e fora, assim, o responsável pelos avanços e pelas características da Ciência naqueles séculos. A mudança de atitude mental de segmentos significativos dos meios intelectuais, a partir do Iluminismo, alteraria a situação. O aproveitamento da Ciência para confirmar a autoria divina dos fenômenos físicos e sociais seria substituído, no século XIX, pelo objetivo de entender e de utilizar tais fenômenos em benefício da Sociedade, sem o intuito de procurar causas finais. As teses vitoriosas da separação do Estado e da Igreja, da abolição da prerrogativa eclesiástica de conceder autorização de publicação (*imprimatur*) e do reconhecimento da Fé como uma questão de foro íntimo do cidadão reforçariam a corrente de opinião em favor da absoluta liberdade de pesquisa científica, o que importava na rejeição da tutela religiosa, ou teológica, da Ciência. O caráter secular do Estado nacional passaria a se aplicar, igualmente, ao campo da Ciência. Com o declínio da capacidade de interferência de considerações estranhas a seus novos objetivos de servir à Sociedade e ao Homem, impôs-se o pensamento científico, o qual, a partir da segunda metade do século XIX, orientaria, embora com resistências, o extraordinário progresso da Ciência em bases racional, experimental, quantificada e positiva na busca de leis gerais e universais reguladoras dos fenômenos naturais e sociais.

Outro aspecto relevante no século XIX foi o de ser entendida a função social da Ciência, ou seja, o do reconhecimento generalizado, principalmente nos círculos oficial, intelectual e empresarial, de que a Ciência deveria ter uma destinação social, dando-lhe, assim, uma nova, ampla, profunda e importante finalidade. A tomada de consciência dessa função social, em vista das evidentes implicações do progresso científico no desenvolvimento de vários setores da atividade do Homem, seria a grande determinante da mudança de atitude da Sociedade, que, até então,

a considerava, basicamente, como um mero exercício intelectual voltado para satisfazer a curiosidade humana. Os avanços na Matemática e na Física possibilitariam grandes obras de engenharia e aperfeiçoamento de máquinas, o progresso na Química viabilizaria a indústria química e farmacêutica, e as pesquisas na Biologia permitiriam um rápido desenvolvimento da Medicina. Tais seriam alguns exemplos da inestimável contribuição da Ciência à Humanidade, cujo reconhecimento levaria, necessariamente, a considerar a Ciência, não como um fim, mas como um eficiente e imprescindível meio a ser posto a serviço da Sociedade.

Diante das perspectivas altamente positivas que se abririam para a Sociedade com o progresso da Ciência, haveria uma mudança de atitude, que, de indiferença, passaria a apoio e confiança. A conscientização de que o conhecimento científico poderia ser benéfico para seus interesses e para demandas da Sociedade levaria os governos e as grandes empresas, principalmente a partir de meados do século XIX, a reconhecer, em suas respectivas políticas, o papel, cada vez mais importante, que deveriam exercer os estudos e as pesquisas da Ciência pura e da Ciência aplicada.

O apoio político e econômico recebido pela Ciência, em geral, dos vários setores da Sociedade explica o extraordinário desenvolvimento do conhecimento científico e de sua aplicação no amplo e dinâmico setor industrial, origem da Segunda Revolução Industrial. Para tanto, outros setores, como o da educação e o da formação técnica, seriam incentivados, com evidentes benefícios sociais diretos e indiretos.

Um terceiro aspecto importante a assinalar é o da ampliação do campo científico a novas áreas, e o da aplicação da metodologia adequada, e seus procedimentos, aos diversos ramos da Ciência, com vistas a entender os fenômenos, a elaborar conceitos e a determinar suas “leis” reguladoras. A Matemática pura teria um desenvolvimento revolucionário, com a introdução de novas teorias, como a dos conjuntos, e de novos conceitos, como de Geometria não euclidiana, atingindo elevado grau de complexidade e sofisticação. A Astronomia se beneficiaria dos progressos na Física (Óptica), dos aperfeiçoamentos tecnológicos nos equipamentos (telescópio) e das inovações (fotografia), permitindo observação mais acurada da abóbada celeste, descoberta de planetas e outros corpos celestes e melhor conhecimento do Sistema Solar e da Via Láctea; a Astrofísica surgia como um promissor novo ramo de pesquisa astronômica. O desenvolvimento da Física teórica prosseguiria na linha das pesquisas anteriores. A Teoria atômica receberia mais apoio e adesões nos meios científicos; a Termodinâmica e o Eletromagnetismo se firmariam como importantes ramos da Ciência física, ao mesmo tempo em

que ocorreriam pesquisas pioneiras na Mecânica, na Acústica e na Óptica. A Química, criada no final do século anterior, expandiria enormemente sua área com a descoberta da "Química Orgânica". Progressos conceituais no campo atômico, avanços significativos na classificação e descoberta de elementos e o grande surto da "Química industrial" foram alguns dos principais desenvolvimentos que colocariam a Química como uma das Ciências dominantes do século XIX. A Alquimia seria definitivamente banida do meio científico, e, mesmo, das cogitações dos leigos, embora fosse reconhecido seu papel de precursora da Química, principalmente quanto à experimentação. O novo ramo da Bioquímica ilustra o estreito vínculo entre a Química e a Biologia. A Biologia, ou a Ciência da Vida, se estruturaria ao longo do período, tornando-se um dos mais ativos ramos científicos; a História Natural (Geologia, Botânica e Zoologia) adquiriria um caráter científico, abandonando a postura limitada à descrição, à classificação e à nomenclatura da flora e da fauna, para pesquisar os diversos sistemas biológicos das plantas e dos animais. Com a contribuição da Química, nasceria a "Medicina científica". A Teoria da Evolução da Espécie teria um imenso impacto que transporia os limites da História Natural e da Biologia, a exemplo da enorme repercussão quando da criação da Física Moderna, por Galileu, ou da Mecânica Celeste, por Newton. A Histologia seria criada, no início do século, por Bichat, e a Microbiologia, com Pasteur e Koch, se transformaria num ramo importante, com imediata aplicação na Indústria e na Medicina. A obra sobre Genética, de Mendel, seria conhecida apenas no final do século, vindo a abrir uma imensa área de pesquisa somente no século XX.

A ebulição social, iniciada na segunda metade do século XVIII, na Europa, e agravada com as consequências da Revolução Industrial, trouxe à tona a chamada questão social, cujo exame passou a requerer um tratamento científico. A fundação, por Augusto Comte, da Sociologia, atendeu, assim, a essa necessidade. Ao incluir, necessariamente, os fenômenos sociais no âmbito da metodologia científica, a Sociologia romperia com uma tradição secular e inauguraria uma fase de estudo da Sociedade Humana com vistas à formulação de conceitos, leis sociológicas e análise dos fatos sociais. A complexidade, a generalidade e a novidade do tema dariam origem a doutrinas e escolas que enriqueceriam, na segunda metade do século, o estudo sociológico. A gravidade da "questão social" e os sérios problemas de ordem política, econômica e cultural dariam atualidade e reconhecida importância à nova Ciência da Sociologia, que despertaria grande interesse nos meios intelectuais, acadêmicos e governamentais, e motivaria seu desenvolvimento no século XX.

O grande desenvolvimento científico do século não se limitou, porém, às chamadas Ciências fundamentais. Várias Ciências auxiliares, vinculadas às fundamentais, se formariam, ampliando, extraordinariamente, a área de conhecimento do Mundo e do Homem. As descobertas de ruínas de antigas cidades e civilizações levaram à Arqueologia, e as de esqueletos e fósseis de animais extintos, à Paleontologia; a Psicologia surgiria, em função dos estudos sobre o comportamento do Homem; e a Antropologia, em vista do interesse despertado, com a conquista colonial, pela cultura dos aborígenes. A Geologia, a Mineralogia e a Meteorologia também se desenvolveriam e contribuiriam para o melhor entendimento de fenômenos naturais, e as diversas Ciências Sociais (Direito, História, Economia, Linguística) seriam objetos de análise de acordo com o espírito científico.

Outro aspecto importante a mencionar na evolução da Ciência é o da criação de vários institutos, laboratórios, bibliotecas, museus e centros dedicados à pesquisa. A complexidade e a tecnicidade crescentes da Ciência, cada vez menos especulativa e cada vez mais experimental e investigativa, tornariam excessivamente dispendiosa sua prática com relação aos períodos anteriores. A tradicional pesquisa individual e solitária, muitas vezes praticada por abnegados homens da Ciência, com amplos recursos próprios e oficiais (Tycho Brahe, Boyle, Cavendish, Lavoisier, Darwin), ou com limitado ou reduzido apoio financeiro (Kepler, Huygens, Hooke, Newton, Lineu, Buffon, os Bernoulli), já não seria compatível com a complexidade e a tecnicidade da pesquisa resultantes dos avanços na Ciência teórica e aplicada. A utilização crescente de instrumentos novos, caros e sofisticados, a contratação de técnicos e especialistas para o trabalho laboratorial e a necessidade de amplos e bem equipados laboratórios transformariam a pesquisa científica numa atividade altamente dispendiosa, que, para ser eficiente e de êxito, requeria vultosas inversões, melhor estruturação e organização, e profissionalismo.

Nesse sentido, o apoio governamental, que até então fora mais formal e de pouca monta, cresceria, a partir do reconhecimento da importância da Ciência para os objetivos do Estado, a ponto de se transformar em financiador importante da atividade científica. As grandes empresas industriais, por seu turno, beneficiárias de uma Ciência aplicada, seriam, igualmente, grandes patrocinadores da pesquisa, por meio de inversões financeiras em institutos científicos, e, mesmo, do estabelecimento de laboratórios próprios de investigação.

As Academias e Sociedades científicas, criadas em séculos anteriores, seriam reformadas, a fim de adequá-las às prementes

necessidades do momento, enquanto novos Centros e Institutos de Pesquisa seriam estabelecidos em diversos países da Europa e EUA. Sociedades especializadas em alguns ramos da Ciência e Associações para o Progresso da Ciência estenderiam, ainda mais, a rede nacional de ensino, estudo e pesquisa da Ciência. A frequência de reuniões, congressos, simpósios e conferências internacionais estabeleceria uma estreita comunicação entre os centros científicos dos países e entre os próprios cientistas, facilitando o intercâmbio de informações e de conhecimento. O latim, até então o idioma de cultura, seria substituído pelo vernáculo, o que contribuiria para o ensino, a divulgação e a popularização da Ciência.

O caráter internacional da Ciência se firmaria no século XIX. A mudança do currículo escolar, para incluir, desde o curso elementar, o ensino de "ciências", a transformação das Universidades, de meros centros de ensino em centros de estudos e pesquisa científica, e a multiplicação de revistas e publicações especializadas, que divulgariam o progresso das investigações, seriam responsáveis pelo aumento significativo do número de pesquisadores no decurso do século, os quais trabalhariam em equipe, em laboratórios, em recém-criados institutos de pesquisa ou em centros especializados.

Uma rápida menção dessas transformações ao longo do século XIX em diversos países mais avançados em pesquisas ratifica o caráter teórico e social assumido pela Ciência, o que muito contribuiria para a confiança e os apoios recebidos da Sociedade.

Na França, ao Colégio de França, ao Instituto de França, que substituíra a Academia de Ciências, e à Escola Politécnica, criações de épocas anteriores, se juntariam, no século XIX, outras instituições de estudo e de investigação que expandiriam as atividades científicas no país. Apesar do pouco interesse manifestado pela Restauração (Luiz XVIII e Carlos X), a Academia de Ciências deixaria de ser um departamento do Instituto para ser reinstalado como órgão autônomo (1816), e seria fundada a Academia de Medicina (1819). Uma série de instituições, com o objetivo de estudar, pesquisar, debater e divulgar, seria criada, tendo Paris como o grande centro científico: Sociedade de Entomologia (1832), Sociedade de Biologia (1848), Sociedade de Geologia (1860), Sociedade de Matemática (1872), Sociedade de Física (1874) e Sociedade de Astronomia (1887); a exemplo de outros países, seria formada a Associação Francesa para o Progresso da Ciência (1870). O Instituto Pasteur (1888) seria líder mundial em pesquisas de Microbiologia e fabricação de vacinas. Devem ser igualmente citados os *Anais de Matemática*, de Gergonne (1811-1823), e o *Jornal de Matemáticas Puras e Aplicadas*, de Liouville (1837), como obras importantes na divulgação da pesquisa matemática.

A Alemanha, unificada em 1871, se transformaria, nos últimos decênios do século XIX, num dos países mais desenvolvidos no campo da Ciência. A Universidade de Göttingen (1763), que já no século anterior dera ênfase ao estudo da Ciência, serviria de exemplo às demais (Berlim, Breslau, Königsberg, Bonn, Iena, Giessen, Heidelberg, Tubingen, Halle, Munique e outras) que introduziram reformas em seus Estatutos com vistas à modernização do ensino e à expansão de suas atividades, como centros de investigação. Ao mesmo tempo, um grande número de instituições técnicas, espalhadas pelo país, formaria, anualmente, centenas de competentes especialistas de alto nível técnico, elevando a qualidade da pesquisa germânica. Além dos famosos institutos de Fisiologia de Karlsruhe, Breslau, Bonn e Berlim, estabelecidos em meados do século, foi inaugurado, em 1835, o Observatório Astronômico da Universidade de Berlim, e foram criadas, em 1848, a Sociedade Alemã de Geologia e o Instituto Alemão de Matemática, em 1890. Aos laboratórios de pesquisa instalados nas universidades (como a de Giessen, com Liebig), devem ser adicionados aqueles da própria emergente indústria alemã, muito interessada em participar da criação do processo de produção. A *Revista de Matemática e de Física*, de Leipzig (1856), e o *Jornal de Matemática*, de Crelle (1826), teriam ampla divulgação, e serviriam de referência no processo de desenvolvimento da Matemática. Especial menção deve ser feita à contribuição do naturalista Lorenz Oken, fundador da Sociedade Alemã para o Progresso da Ciência (1822), que serviria de modelo para a criação de sociedades semelhantes em outros países. Com reuniões regulares, anuais, em diferentes cidades dos diversos Reinos, a Sociedade se transformou num dos fatores do extraordinário progresso alemão no campo da Ciência.

Na Grã-Bretanha dos séculos XVII e XVIII, a Sociedade Real, com o apoio formal da Coroa, fora a Instituição central de pesquisa, mas sofrera forte influência aristocrática, aceitara a participação, em seus quadros, de pessoas estranhas ao meio científico, dispunha de poucos recursos financeiros e se transformara, pouco a pouco, numa "sociedade de debates", sem contribuição original para a Ciência. O nítido declínio do ensino científico, a influência aristocrática e religiosa sobre as universidades, e a falta de ação da Sociedade Real levaram a uma insatisfação nos meios científicos britânicos, que resultaram na fundação da Sociedade Lineana (1788) e do Real Instituto (1799) por Benjamin Thompson, Conde de Rumford; na criação de Sociedades Literárias e Filosóficas (Liverpool, 1812; Leeds, 1818; Sheffield, 1822; Yorkshire, 1822) – que chegariam a mais de uma centena no final do século –; e no estabelecimento da Sociedade Geológica (1807) e da Real Sociedade de Astronomia (1820).

Diante da insatisfatória reação dos meios acadêmicos e universitários, o matemático Charles Babbage publicaria sua obra intitulada *Reflexões sobre as Causas do Declínio da Ciência na Inglaterra* e, em 1831, adotando o modelo alemão, fundaria a Associação Britânica para o Progresso da Ciência, que, em reuniões regulares, em diferentes cidades, divulgava as conquistas da Ciência e defendia o desenvolvimento da pesquisa científica. Várias Sociedades seriam fundadas, como a de Estatística (1834), de Química (1841), de Matemática (1864), de Física (1875), e criados Institutos de Mecânica, em Londres (1823) e Birmingham (1825). O famoso Laboratório Cavendish foi fundado em 1872. Reforma universitária para a modernização do ensino de Ciências foi introduzida, com o apoio do Governo, que criou novos estabelecimentos de ensino especializado, como o Colégio Real de Química (1845), e geral, como o Colégio de Minas e de Ciência (1851). Na Escócia (Glasgow), um laboratório de Química foi criado, em 1817, e, um de Física, em 1846; um Instituto de Mecânica foi estabelecido em Glasgow (1823), e uma Sociedade de Matemática, na cidade de Edimburgo, em 1883.

A Itália, conturbada por intenso movimento político e militar que mobilizou a intelectualidade do país, não teve condições de revitalizar a Ciência, que fora sua glória incontestável, como protagonista principal do Renascimento Científico e do início da Ciência Moderna. As reuniões anuais de cientistas italianos (Congresso dei Dotti), organizadas a partir de 1839, seriam desvirtuadas por discussões políticas, o que levaria à sua proibição, em 1847. A retomada da atividade científica ocorreria com a unificação da Itália (1870), com incentivo à pesquisa, desde a Matemática até a Sociologia, em instituições especializadas.

Nos países escandinavos, a História Natural e a Química foram atividades de grande valor científico e de grandes expoentes, com uma produção de qualidade que se estendeu até os primeiros decênios do século XIX. O desenvolvimento econômico, o rompimento do tradicional quadro social e a modernização universitária (Copenhague, Lund, Uppsala) e fundação das Universidades de Oslo (1811) e Estocolmo (1878) criariam um clima favorável à Ciência, na segunda metade do século. Vários institutos especializados seriam estabelecidos, com fundos públicos e doações de fundações privadas (Carlsberg, na Dinamarca, 1876, e Nobel, na Suécia). A retomada da atividade científica seria um fator decisivo no progresso tecnológico e econômico alcançado por esses países no século seguinte.

Bélgica, Holanda e Suíça, que haviam sido, em séculos anteriores, muito ativos em trabalhos científicos, com uma longa lista de grandes

pesquisadores, só voltariam a apresentar importantes, pioneiros e inovadores estudos e pesquisas no final do século. A figura de Lambert Quetelet, matemático e estatístico belga, fundador do Observatório de Bruxelas, criador da estatística social, autor de obras no domínio sociológico e organizador de congressos internacionais, deve ser consignada, ainda que isolada. O industrial Ernest Solvay financiaria a fundação de vários institutos especializados, como o de Fisiologia, em 1893. A modernização do ensino universitário, com a inclusão de investigação científica, na Holanda (Leiden, Amsterdã, Utrecht) e na Suíça (Berna, Basileia, Genebra, Lausanne, Zurique), seria responsável pela retomada, no final do século, da atividade científica nesses países. A Escola Politécnica Federal, na Suíça, criada em 1854, viria a ter renome internacional. Cabe mencionar, ainda, a fundação, em 1815, da Sociedade Helvética de Ciências Naturais, a primeira do gênero, que realizaria reuniões anuais para a orientação e divulgação das pesquisas.

A Rússia, que, desde Pedro, o Grande e Catarina, a Grande, iniciara um trabalho de modernização do país, por meio da formação de um meio intelectual influenciado pela cultura filosófica e científica do Ocidente, estabeleceria uma base de estudos e investigação (Escolas de Medicina e de Engenharia, Academia de Ciências de São Petersburgo, Sociedade Econômica Livre – primeira Instituição científica da Rússia –, Escola de Minas, recrutamento de cientistas ocidentais, expedições em diversas regiões do imenso território), que lhe permitiria sair do marasmo e do atraso cultural e científico em que se encontrava, com relação aos mais avançados países da Europa. A Rússia disporia, no final do século XIX, de 11 universidades, que efetuavam pesquisas em seus laboratórios, bibliotecas, observatórios, e publicavam anuários e memórias. Além da prestigiosa Academia de Ciências de São Petersburgo, a atividade científica russa se expandiria enormemente com o estabelecimento de instituições especializadas, como o Observatório Astronômico de Pulcovo (1839), o Observatório Geofísico de São Petersburgo (1849), o Jardim Botânico de Nikitsky, na Crimeia (1812), a Sociedade dos Naturalistas, de Moscou (1805), a Sociedade de Geografia (1845), a Sociedade de Matemática, de Moscou (1864), e a Sociedade Russa de Química (1868). O grande avanço no ensino e na pesquisa, nos diversos ramos da Ciência, alcançado ao final do século XIX, reduziu bastante o antigo atraso da Rússia em relação à Europa ocidental, prenunciando o surgimento de um novo e importante polo de investigação científica.

Os demais países europeus (Império Austro-Húngaro, Polônia, Portugal, Espanha, Bulgária, Romênia, Grécia), ainda que contassem com

universidades e tivessem criado algumas instituições científicas, tiveram uma reduzida atividade de pesquisa, mantendo-se em significativo atraso neste campo, durante todo esse período. Poucos trabalhos de ilustres cientistas desses países ocupam lugar de destaque na História da Ciência, devendo-se, contudo, registrar as extraordinárias contribuições de Gregor Mendel, pai da Genética, de Bolyai, um dos fundadores da Geometria não euclidiana, do físico Boltzmann, e dos biólogos Purkyne e Ramon y Cajal.

Fora do continente europeu, dois países dariam alta prioridade à pesquisa da Ciência, teórica e aplicada, como meio para a promoção de seus respectivos desenvolvimentos econômico e social, sem que tivessem alcançado, contudo, no século XIX, o nível de conhecimento científico das grandes potências europeias.

Os Estados Unidos da América não possuíam, até 1840, ano de criação do Instituto Nacional para a Promoção da Ciência, uma Instituição científica de âmbito nacional. O legado de meio milhão de dólares do cientista inglês James Smithson, em 1835, para o estabelecimento de uma Instituição dedicada à Ciência, em Washington, só se tornou realidade em 1846, após longa controvérsia sobre se tal doação poderia ser aceita pelo Congresso, e se não feria a dignidade do país. Seu primeiro diretor foi o físico Joseph Henry, admirável administrador, responsável pelo grande trabalho desenvolvido pela Instituição desde sua fundação. A criação, em 1819, em Yale, da Sociedade Geológica Americana; em 1834, da Sociedade Geológica da Pensilvânia; e, em 1840, da Associação Americana de Geólogos, mostra o grande interesse pela pesquisa nessa área. Com a adesão de membros naturalistas, de diversas especializações, a Associação se transformou numa entidade interessada em pesquisas das Ciências físicas e naturais, embrião da Associação Americana para o Progresso da Ciência, fundada em 1848, que se reunia periodicamente em diferentes cidades, com o propósito de difundir as Ciências por todo o território nacional. Importante passo para o desenvolvimento científico americano seria a criação, em 1863, durante a Guerra de Secessão, da Academia Nacional de Ciências, que, segundo Joseph Henry, marca, "o primeiro reconhecimento oficial da importância das Ciências puras como elemento essencial do progresso social, intelectual e material". Em meados do século, foram criadas faculdades de disciplinas científicas nas Universidades de Yale e de Harvard, e fundados, em 1846, a Universidade de Princeton; em 1861, o Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), em Boston; e, em 1876, a Universidade Johns Hopkins, em Baltimore, que viriam a dar um extraordinário impulso ao estudo e à investigação nos diversos campos da Ciência.

Além do estabelecimento do Observatório Naval, em Washington, D.C., em 1845, algumas instituições especializadas foram criadas, na segunda metade do século, como a Sociedade de Química (1876), a Sociedade de Geologia (1889), a Sociedade de Matemática (1891). Laboratórios particulares, financiadas pelo Governo Federal ou por grandes empresas, seriam responsáveis pelo extraordinário progresso tecnológico alcançado pela indústria americana, como evidenciaram as exposições de Nova York, Filadélfia, Chicago e outras; menção especial sobre o particular merece o famoso Laboratório de Menlo Park (1872), de Thomas Edison.

O Japão, que se mantivera isolado da cultura ocidental até meados do século XIX (1853), iniciaria, em 1868, com o Imperador Mutsuhito, a "Era Meiji" (política esclarecida), com o propósito de modernizar o país, transformando-o em potência industrial capaz de enfrentar a competição ocidental. Para recuperar o tempo perdido e promover o desenvolvimento econômico, o novo Governo daria um extraordinário impulso ao ensino e à pesquisa nos diversos domínios da Ciência. O ensino das Ciências tornou-se obrigatório nos níveis secundário e superior, uma Escola de Medicina seria criada em Tóquio, em 1868, a Universidade de Tóquio seria reformada em 1877, e criada a de Quioto, em 1899. Em 1884, seria fundada a Sociedade Científica Japonesa. Médicos e cientistas ocidentais se deslocariam para o Japão para participarem desse esforço de implantação da Ciência ocidental no país, bem como jovens japoneses seriam enviados ao exterior para cursos em disciplinas científicas e para treinamento em estabelecimentos industriais. Esse processo de modernização da economia e de desenvolvimento científico prosseguiria no século XX, quando surgiriam os benéficos resultados da orientação imposta pela classe dirigente que assumira o poder com a recuperação da autoridade imperial.

Nos demais países, não houve qualquer iniciativa importante no sentido de criar as condições necessárias para o desenvolvimento da pesquisa científica. O atraso econômico, educacional e social, a incapacidade política ou jurídica de decisão, a força da tradição, inibidora de mudanças, o poder dos interesses constituídos, o desinteresse ou a oposição de certos setores nacionais, o relativo isolamento cultural, o conformismo do limitado meio intelectual local e a falta de um pensamento científico inviabilizariam o estabelecimento das bases indispensáveis à investigação científica nos países periféricos. Exceto a inclusão de disciplinas científicas no currículo escolar de nível secundário e a fundação de algumas Faculdades ou cursos superiores, sem capacidade de investigação, nada

foi feito para sanar as deficiências e insuficiências, tais como a falta de institutos de pesquisa, de associações e sociedades especializadas, de laboratórios e de escolas técnicas, além da grande dificuldade de acesso a obras estrangeiras e de participação em eventos internacionais. Essa situação prejudicial e desvantajosa permaneceria praticamente inalterada por todo o século XIX.

Um quinto aspecto característico a salientar foi a novidade da colaboração internacional, representada por um esforço coletivo pela divulgação dos avanços das pesquisas e pela cooperação entre cientistas e entre entidades de diversos países para o desenvolvimento da Ciência. Organizações multilaterais seriam igualmente criadas com esse propósito. Assim, o I Congresso Internacional de Estatística reuniu-se em Bruxelas, em 1853, e o VIII, em São Petersburgo, em 1872; um I Congresso de Química, em Karlsruhe, em 1860; um I Congresso Internacional de Botânica celebrou-se em Bruxelas, em 1864; um I Congresso de Medicina, em Paris, em 1867; um I Congresso Internacional de Matemática em Zurique, em 1897 e o II, em Paris, em 1900; a I Reunião da Associação Internacional de Geodésia, em 1899. Durante a Exposição de Paris, de 1900, reuniram-se, na capital francesa, mais de 15 Congressos sobre diferentes ramos científicos. Foram muito ativas a Comissão Internacional do Sistema Métrico e a Comissão Internacional dos Pesos e Medidas. Várias outras Comissões Internacionais seriam criadas, além da Associação Internacional das Academias, em 1900. Revistas especializadas nas diversas Ciências, com artigos de alta qualidade e com informações atualizadas sobre as últimas descobertas e investigações teriam ampla circulação mundial.

Embora não se possa considerar como definitivamente implantado e vitorioso, o espírito científico se imporia, no final do século XIX, em importantes e crescentes segmentos do meio intelectual e acadêmico, o que permitiria um fantástico progresso nas pesquisas e nos estudos teóricos de diversas disciplinas, em bases objetivas, racionais e positivas, ao mesmo tempo que se firmava a independência da Ciência em relação à Teologia.

6.18 Matemática

O século XIX foi um período de extraordinário desenvolvimento da Matemática pura e aplicada, sendo, mesmo, considerado por muitos autores como sua Idade de Ouro, tão fértil e fecunda quanto o da época da Civilização grega, que introduzira formulação de conceitos (grandeza, quantidade, ordem, forma, extensão, posição) e a aplicação do método

dedutivo ao pensamento abstrato e lógico. Nesse sentido, a Matemática do século XIX, pelo reexame de seus fundamentos, foi igualmente revolucionária, o que a torna um marco significativo na evolução do pensamento matemático, distinguindo-a da praticada nos séculos anteriores.

Pela alta produtividade em qualidade e quantidade, pela introdução de novos conceitos, pela aplicação de maior rigor metodológico, pela extensão, profundidade e diversificação das pesquisas, e pelos significativos avanços nos diversos ramos (Álgebra, Geometria, Análise), o desenvolvimento da Matemática teórica seria um dos aspectos mais positivos da evolução da Ciência no período. O que caracterizaria a Matemática do século XIX, contudo, seria a ênfase na abstração, o retorno ao rigor da fundamentação, a criação da Geometria não euclidiana e a fundação da Lógica matemática.

A expansão do conhecimento e do volume de teorias matemáticas e a formulação de ideias e técnicas cada vez mais abstratas chegariam a tal ponto, no final do século, que nenhum matemático seria capaz de dominar, sozinho, todas as suas ramificações[1]. A criação da Álgebra abstrata ou Moderna, a partir da Teoria dos Grupos, e da Álgebra linear, a fundação das Geometrias não euclidianas, a formulação da Teoria dos Conjuntos, os avanços na rigorosa fundamentação da Análise e a criação da Geometria Projetiva são alguns exemplos da complexidade e da extensão que alcançaria a Matemática no período. A intensa pesquisa em Matemática teórica, independentemente de sua aplicabilidade em outras Ciências ou na Indústria, explica esse extraordinário desenvolvimento conceitual. Se Leibniz, Euler e D'Alembert são conhecidos como matemáticos, dada a abrangência de suas contribuições, considera-se que, com exceção de um Gauss, um Riemann, um Klein ou um Poincaré, a especialização, no século XIX, faria Cauchy um analista, Cayley um algebrista, Steiner um geômetra e Cantor um pioneiro na Teoria dos Conjuntos[2].

Os gregos criaram uma Ciência matemática em base abstrata, axiomática, dedutiva, demonstrável, a qual substituíra as percepções intuitivas e o raciocínio indutivo da Matemática empírica das antigas Civilizações. Noções imprecisas e obscuras, como as de "infinitamente pequeno", "infinito" e "indivisível", constituíam-se, por falta de demonstração, em problemas, reconhecidos por autores gregos, para a construção axiomática. O rigor metodológico empregado pelos matemáticos helênicos não seria aplicado na Matemática cultivada no

1 COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire de la Science.*

2 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

Renascimento Científico, quando foram descuidados os escrúpulos lógicos, posta em dúvida a validade absoluta dos axiomas e reavaliada a importância da intuição.

O problema adquiriria nova dimensão no final do século XVII, com a invenção do Cálculo infinitesimal, que introduzira as noções de "diferencial" e de "infinitesimal", cujo significado complexo, impreciso e de difícil compreensão, daria margem a que seus críticos (Berkeley, Voltaire) o chamassem de "metafísica do Cálculo infinitesimal". O sucesso dos resultados obtidos pelo Cálculo, apoiado em pura técnica operatória, asseguraria, no entanto, sua generalizada aceitação, sem maiores discussões quanto ao rigor matemático. D'Alembert, em seu verbete sobre "limite" (de concepção geométrica) na *Enciclopédia*, e Euler, em *Institutiones calculi differentialis* (1755) e *Institutiones calculi integralis* (1768-1770), foram pioneiros no esforço de introduzir rigor de análise nos procedimentos do Cálculo infinitesimal. Lagrange avançaria no estudo do assunto em *Teoria das Funções Analíticas* (1797) e *Lições sobre o Cálculo das Funções* (1808), fazendo da função o conceito central do Cálculo[3]. A propósito, certos conceitos básicos, como Espaço, Geometria e Função, que já evoluíam no tempo, seriam adaptados à Teoria dos Conjuntos.

No século XIX, o checo Bolzano foi o primeiro a estabelecer uma concepção clara das noções de base do Cálculo infinitesimal (continuidade, derivada, relação entre continuidade e derivada), mas seu trabalho permaneceria despercebido dos meios matemáticos por meio século. O principal introdutor do rigor no Cálculo infinitesimal foi Augustin-Louis Cauchy, em *Curso de Análise* (1821), *Resumo das Lições sobre o Cálculo Infinitesimal* (1823) e *Lições sobre o Cálculo Diferencial* (1829), nos quais apresentou definição de limite, como concepção aritmética, a qual passaria a ser a base do Cálculo infinitesimal, esclareceu as noções de convergência de uma série, da continuidade de uma função e da integral de uma função, e definiu o "infinitamente pequeno": uma quantidade variável se transforma em infinitamente pequena quando seu valor numérico decresce infinitamente, de maneira a convergir ao limite zero. Deve-se a Weierstrass, autor de formulações modernas das noções de limite e continuidade, a elaboração rigorosa dos "números reais" (1868/70), indispensável para assentar a análise do Cálculo em bases aritméticas sólidas.

Hilbert, que desde 1894 se dedicara à Geometria não euclidiana, publicou, em 1898/99, seu famoso *Fundamentos da Geometria*, no qual analisou os axiomas da Geometria euclidiana e estabeleceu nova base

3 DAHAN-DALMEDICO, Amy; PEIFFER, Jeanne. *Une Histoire des Mathématiques.*

estritamente axiomática para a disciplina. Com essa obra, Hilbert pode ser considerado o fundador e principal representante da "axiomática", que trata dos conjuntos de postulados e suas propriedades. Os *Elementos*, de Euclides, tinha uma estrutura dedutiva, mas continha hipóteses ocultas, definições sem sentido e falhas lógicas. Em lugar dos cinco axiomas e cinco postulados de Euclides, Hilbert formulou 21 postulados, conhecidos como "axiomas de Hilbert", dos quais, "oito se referem à incidência e incluem o primeiro postulado de Euclides; quatro são sobre propriedades de ordem; cinco sobre congruência; três sobre continuidade (propriedades não explicitamente mencionadas por Euclides); e um postulado de paralelas, essencialmente equivalente ao quinto postulado de Euclides"[4]. O rigor, em bases modernas, já em aplicação na Álgebra e na Análise, se estenderia, assim, ao final do século, à Geometria.

Sobressaíram-se ainda, os trabalhos de Gauss, Abel, Dirichlet, Riemann, Dedekind, Pasch e Peano, cujas contribuições confirmariam a grande preocupação dos matemáticos da época em assegurar bases sólidas, seguras, confiáveis e rigorosas para a Matemática contemporânea.

Além da ênfase na abstração e do retorno ao rigor metodológico, outra característica importante, no século XIX, foi a constituição da Lógica matemática ou simbólica, tema que se inscreve no domínio da Filosofia da Matemática. A ideia de uma linguagem científica universal, expressa num simbolismo prático e reduzido, que conduziria o processo de raciocínio, já fora advogada por Leibniz, em sua *De arte combinatoria* (1666), tendo tentado, entre 1679 e 1690, a criação de uma lógica simbólica. A constatação, em meados do século XIX, de que, apesar dos resultados obtidos pelos estudiosos, havia um insuficiente conhecimento dos conceitos básicos e dos métodos de demonstração utilizados para a obtenção desses resultados, levaria a uma retomada de interesse pelo estudo dos fundamentos da Matemática.

Ao contrário da Lógica formal, sistematizada por Aristóteles, com o uso da linguagem corrente, os matemáticos do século XIX consideraram fundamental que o assunto, para ser estudado com o caráter científico necessário, deveria utilizar uma linguagem simbólica, a fim de evitar ambiguidade, facilitar o entendimento e permitir a brevidade[5]. A Lógica, como instrumento para a obtenção de conclusões a partir de hipóteses aceitas, seria objeto de crescente interesse e de intensa pesquisa. Nesse sentido, seriam decisivos os trabalhos de Boole (*Análise Matemática da Lógica*, 1847, e *Investigação das Leis do Pensamento*, 1854); de Morgan

---

[4] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

[5] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

(*Lógica Formal*, 1847); de Cantor (artigos diversos, 1874-1897 sobre a Teoria dos Conjuntos); de Weierstrass (artigos diversos com definições de continuidade, limite, convergência, e sobre séries infinitas); de Dedekind (*Continuidade e Números Irracionais*, 1872, *O que os números são e devem ser*, 1888, e artigos diversos); de Frege (*Fundamentos da Aritmética*, 1884, e *Leis Básicas da Aritmética*, 1893-1902); e de Peano (*Cálculo Geométrico*, 1888, e *Formulário Matemático*, 1894-1908). O trabalho de expressar toda a Matemática em termos de um cálculo lógico (Peano) e o da necessidade de uma fundamentação mais sólida para a Matemática (Frege) encerrariam essa fase de estudos sobre Lógica matemática, assunto que continuaria a despertar interesse e prosseguiria sob exame no século XX.

Hilbert que, dentre suas inúmeras contribuições ao desenvolvimento da Matemática, iniciara a Escola axiomática, marcaria o fim do século com seu célebre *Problemas da Matemática*, apresentado ao II Congresso Internacional de Matemática, celebrado em Paris, em 1900, no qual esboçou os desafios imediatos, no total de 23, que deveriam ser enfrentados pela comunidade matemática[6]: 1. o problema da cardinalidade do contínuo de Cantor; 2. a consistência dos axiomas aritméticos; 3. a igualdade do volume de dois tetraedros, se a base, a área e a altura forem iguais; 4. o problema da linha reta como a ligação mais curta entre dois pontos; 5. o conceito de Lie, de grupos de transformações contínuas sem postular a "diferenciabilidade" das funções que definem o grupo; 6. o tratamento matemático dos axiomas da Física; 7. a irracionalidade e transcendência de certos números; 8. problemas na teoria dos números primos; 9. prova da lei mais geral de reciprocidade em corpos arbitrários de números; 10. decidir se uma equação diofantina com números inteiros racionais é resolúvel com tais números; 11. a teoria das formas quadráticas com coeficientes algébricos; 12. a generalização do teorema de Kronecker sobre corpos abelianos para um domínio de racionalidade arbitrária; 13. a impossibilidade de resolver a Equação geral de grau sete através de funções com duas variáveis apenas; 14. a prova do caráter finito de certos sistemas de funções "inteiras relativas"; 15. a fundamentação rigorosa da geometria "enumerativa", de Schubert; 16. o problema da topologia das curvas e superfícies algébricas; 17. a representação de funções definidas; 18. a construção do espaço por poliedros congruentes; 19. as soluções dos problemas variacionais regulares são sempre analíticas; 20. os problemas de fronteiras, em geral; 21. a prova da existência de Equações diferenciais lineares com grupo de monodromia dado; 22. a uniformização de relações analíticas por meio de funções automórficas; e 23. a extensão dos métodos do cálculo das variações. Esta

6 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

relação dos "problemas", que mostra o estágio alcançado pela Matemática, ao final do século, seria um incentivo para as pesquisas no século XX.

Ainda que não constituam um campo específico de qualquer dos ramos da Matemática, devem merecer especial atenção o desenvolvimento da Teoria das Probabilidades e a criação da Estatística como disciplina, no século XIX, com aplicação imediata no campo da Sociologia e da Biologia[7], abrindo, assim, novas perspectivas para o desenvolvimento das pesquisas, nessas áreas, mais complexas e genéricas da escala científica. O estudo matemático da Teoria das Probabilidades, iniciado no século XVII com Pascal/Fermat, prosseguiria no século XVIII, com de Moivre, Jacques Bernoulli, Condorcet e Laplace, mas teria um grande avanço no século XIX, com a criação da Estatística, cujos primeiros trabalhos matemáticos começaram no século XVIII, na Alemanha, com um curso ministrado na Universidade de Iena, e com um trabalho pioneiro de Johann Peter Süssmilch (1707-1767) sobre população (1741). No século XIX, o belga Adolfo Quetelet iniciaria o estudo sistemático dos fatos sociais, introduzindo um tratamento dominantemente matemático. O primeiro Congresso Internacional de Estatística, realizado em Bruxelas (1853), por iniciativa de Quetelet, marca o início da fase moderna, com o extraordinário avanço, a partir da segunda metade do século, no aperfeiçoamento metodológico, e a múltipla aplicação no campo da investigação científica. Além da contribuição de Quetelet, devem ser mencionadas, igualmente, as de Siméon Poisson (Lei dos Grandes Números) e de Francis Galton (estudos de eugenia e biometria).

A Matemática se desenvolveria, assim, autonomamente, o que não impediria que sua vinculação com outras Ciências, contudo, se intensificasse e se aprofundasse. Por sua crescente e efetiva contribuição para o desenvolvimento de outras Ciências, como a Astronomia (Mecânica Celeste), a Física (Mecânica, Eletromagnetismo, Termodinâmica, Óptica, Acústica), a Biologia (Fisiologia) e a Geodésia, entre outras, firmou-se, definitivamente, a Matemática, no século XIX, como Ciência fundamental e básica para o desenvolvimento das chamadas Ciências Exatas, contribuindo, de forma decisiva, para o avanço do pensamento científico, por seu emprego no extenso espectro enciclopédico do conhecimento humano. A título meramente ilustrativo caberia mencionar as contribuições, nessas áreas de Gauss, Carnot, Möbius, Appell, Poinsot, Coriolis, Helmoltz, Dirichlet, Kirchhoff, Navier, Foucault, Lamé, Le Verrier, Poincaré, Riemann, Maxwell, Thomson, Tait, Stokes e Airy[8].

---

[7] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

[8] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

O reconhecimento da importância da Matemática para o desenvolvimento científico e industrial geraria um grande interesse nos meios intelectuais, pela modernização de seu estudo, pela ativa participação da Universidade no processo de renovação e de criatividade, pela ampliação da cooperação internacional, pela fundação de Associações especializadas de pesquisas, e pela divulgação dos estudos e investigações. As Academias perderiam a exclusividade da pesquisa científica em favor das Universidades, e a "profissão de matemático" seria prestigiada nos meios intelectuais. Ao mesmo tempo, ocorreria uma significativa alteração geográfica da cultura da Matemática na Europa, tornando-se a Alemanha, a partir de meados do século XIX, seu mais importante centro de pesquisa[9].

No início do século, a França continuava como o principal centro de estudos matemáticos, graças, em boa parte, às pesquisas na Escola Politécnica em Paris. Celeiro dos grandes matemáticos do final do século XVIII (Monge, Carnot, Lagrange, Laplace e Legendre), cujas contribuições se estenderam até os primeiros decênios do século XIX, a França permaneceria, por todo o período, como importante centro de referência, dada a plêiade de seus extraordinários matemáticos e físicos-matemáticos, como Fourier, Gergonne, Sophie Germain, Galois, Poinsot, Poisson, Poncelet, Cauchy, Chasles, Lamé, Liouville, Bertrand, Hermite, e, no final do período e início do século XX, Jourdan, Darboux, Poincaré, Appell, Picard, Lebesque, Hadamard. A hegemonia francesa, porém, seria substituída, na segunda metade do período, pela alemã, graças à excelência do ensino em várias Universidades (Göttingen, Berlim, Bonn, Erlangen, Breslau, Königsberg, Giessen, Halle), ministrado por professores do nível de Gauss, Riemann, Weierstrass, Dirichlet, Plucker, Kronecker e Klein. A Alemanha, que produziu Karl Friedrich Gauss, conhecido como o "príncipe dos matemáticos", considerado por muitos como o maior matemático de seu século e um dos maiores de todos os tempos, ao lado de Arquimedes e de Newton, formaria um grande número de excepcionais matemáticos, como Mobius, Jacobi, Dirichlet, Grassmann, Kummer, Crelle, Weierstrass, Kronecker, Helmholtz, Riemann, Dedekind, Clebsch, Fuchs, Plucker, e, no final do período e início do século XX, Cantor, Pasch, Frege, Klein, Frobenius, Planck e Hilbert.

O reconhecido gênio matemático do alemão Karl Friedrich Gauss (1777-1855) está presente, praticamente, nos vários domínios da Matemática. Sua extraordinária, diversificada, fecunda, pioneira e extensa contribuição em Matemática pura inclui[10] demonstrações dos teoremas fundamentais

[9] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
[10] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

da Álgebra e da Aritmética, demonstração da Lei da Reciprocidade Quadrática, formulação da Lei dos Resíduos Quadráticos, Álgebra linear, integração numérica, séries infinitas, equações diferenciais, seções cônicas, funções hipergeométricas, Geometria diferencial, Geometria não euclidiana, Teoria potencial, Análise vetorial, Probabilidades e Estatística (curva de Gauss, distribuição de Gauss).

Gênio precoce, Gauss, aos 19 anos (1796), já consignava em seu famoso diário: i) a descoberta do método para a construção, com régua e compasso, de um polígono regular de 17 lados (heptadecágono) e de não ser possível a construção de um de sete lados (heptágono); ii) o desenvolvimento do método dos quadrados mínimos; iii) a descoberta de que todo inteiro positivo é soma de três números triangulares; iv) a descoberta da periodicidade dupla de certas funções elípticas, e, pouco depois, a periodicidade dupla para o caso geral. Em sua tese de doutorado, na Universidade de Helmstädt, deu a primeira demonstração satisfatória, tentada por Newton, Euler, D'Alembert, Laplace e Lagrange, do "Teorema Fundamental da Álgebra" (uma Equação polinomial, com coeficientes complexos e de grau maior que zero, tem pelo menos uma raiz complexa); três demonstrações posteriores seriam apresentadas por Gauss, em 1801, na *Disquisitiones Arithmeticae*, em 1816 e 1850.

Foram igualmente notáveis as contribuições de Gauss à Astronomia, Geodésia, Óptica, Mecânica, Eletricidade e Magnetismo. Quanto à Astronomia (Diretor, de 1807 a 1855, do Observatório da Universidade de Göttingen), desenvolveu o método dos "mínimos quadrados" (1801) para o cálculo da órbita do asteroide Ceres; escreveu, em 1809, *Theoria motus corporum coelestium*, sobre Mecânica Celeste, na qual tratou, entre outros temas, de equações diferenciais, seções cônicas e órbitas elípticas. Gauss demonstrou grande interesse pela Geodésia: determinou, pela primeira vez, o tamanho e a forma aproximados da Terra com a utilização do método dos mínimos quadrados e de um heliótropo que construíra (instrumento que refletia o raio solar a grandes distâncias e que se destinava a traçar raios luminosos retos sobre a superfície da Terra); escreveu *Untersuchungen über gegenstande der hoheren geodäsie* (1843 e 1846). No terreno da Física, construiu um magnetômetro para medir as forças magnéticas; calculou a posição dos polos magnéticos a partir de observações geomagnéticas; elaborou, em 1832, um conjunto de unidades para medir os fenômenos magnéticos, sendo que a unidade de densidade do fluxo magnético recebeu o nome de "Gauss". Escreveu Gauss, entre outros livros, o *Theoria attractionis corporum spheroidicorum ellipticorum homogeneorum methodus nova*

tractata, com estudos sobre teoria potencial, o *Allgemeines Theorie des Erdmagnetismus*, de 1839 (só poderia haver dois polos na Terra), e o *Allgemeine Lehrsätze...* (1840), sobre a Teoria das forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância (Teoria potencial)[11]. Construiu, com o físico Wilhelm Weber, o primeiro telégrafo eletromagnético. No campo da Mecânica, escreveu *Über ein neues allgemeines Grundgesetz der Mechanik* e *Principia generalia theoriae figurae fluidorum in statu aequilibrii*, ambos baseados na Teoria potencial.

Não se limitariam, porém, a esses dois grandes centros de estudo a alta qualidade e a grande produtividade matemática da Europa[12]. A Grã-Bretanha, que se atrasara em relação a países do continente pela demora em reformar e modernizar o método de ensino de suas universidades e a atividade de suas academias e associações, e em adotar as notações infinitesimais leibnizianas, contaria com alguns expoentes, como Peacock e Babbage, e, na segunda metade do século, com Boole, Morgan, Cayley, Hamilton, Maxwell, Thomson (Lord Kelvin), Galton e Sylvester, atuantes, particularmente, na Física matemática, Lógica matemática, Álgebra linear, Geometria algébrica e na Biometria. A Itália, prejudicada por crises políticas e sociais, só retomaria sua tradição de grandes matemáticos a partir de sua unificação política (1870), com Ruffini, Brioschi, Betti, Cremona, Beltrami, Veronese, Bianchi e Peano. A Suíça, que no século anterior fora pátria de Euler e dos Bernoulli, reduziria sua participação, no cenário internacional, a Steiner e Argand. Os grandes matemáticos russos – Lobachevski, Kovalevski, Chebyshev e Karpov – teriam um reconhecimento tardio na Europa ocidental, limitando, assim, a influência de suas obras no avanço da Matemática pura. Menção especial cabe, igualmente, aos noruegueses Niels Abel e Sophus Lie, ao sueco Mittag-Leffler, ao húngaro Janos Bolyai, ao belga Quetelet e ao checo Bolzano, por suas extraordinárias contribuições à Matemática.

Fora da Europa, caberia apenas citar o início de estudos teóricos nos EUA, com menção a Benjamin e Charles Peirce, e a Josiah Gibbs, dado que os demais países se limitaram, na maioria dos casos, ao mero ensino escolar da Matemática, segundo os manuais de autores franceses e alemães.

O interesse despertado pela Matemática, na Europa, explica, também, a proliferação de instituições nacionais, de congressos internacionais e de publicações regulares, ao longo do período;

---

11 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

12 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

o número total anual de publicações especializadas dobraria entre os anos 1870 e 1909[13].

Dentre as várias Sociedades, representativas desse reconhecimento da conveniência de estreitar os contatos entre os pesquisadores e de incentivar os estudos, cabe citar, por ordem cronológica de fundação, a União Tcheca dos Matemáticos e Físicos (1862); as Sociedades Matemáticas de Moscou (1864) e Londres (1865); da Finlândia (1868); da França (1872); da Dinamarca (1873); de Tóquio (1877); de Edimburgo (1883); de Palermo (1884); da Alemanha (Deustche Mathematiken Vereinungung) (1890); de São Petersburgo (1890); de Göttingen (1892); dos EUA (1894); da Romênia (1895); e a União dos Matemáticos Búlgaros (1898). Caberia indicar, ainda, que a Academia Suíça de Ciência Natural (1815) e a Academia Húngara de Ciências (1825) serviram, também, como centro de incentivo para estudos matemáticos nos respectivos países e como modelo para as Sociedades de Matemática que seriam fundadas na Europa.

No campo internacional, se realizaram o I Congresso Internacional de Matemática, em 1897, em Zurique, e o II Congresso, em Paris, em 1900; e, em 1853, em Bruxelas, o I Congresso de Estatística.

As mais influentes publicações especializadas em Matemática teórica foram, na França, *Annalles Mathématiques*, de Gergonne (1810), que seria substituída, em 1836, pelo *Journal des Mathématiques Pures et Appliquées*, de Joseph Liouville; na Alemanha, o *Journal für der die reine und angewande Mathematik*, de August Crelle (1826), o *Mathematischer Annalem*, de Felix Klein, e o *Jahrenbericht* (1892), da Sociedade de Matemática da Alemanha; na Grã-Bretanha, o *Quarterly Journal of Pure and Applied Mathematics* (1855) e o *Proceedings* (1887), pela Sociedade de Matemática de Edimburgo; Brioschi fundou, em 1858, o *Annalli di Matematica Pura ed Applicata,* e a Sociedade Matemática de Palermo publicaria o *Rendiconti* (1887); o inglês Sylvester fundaria, em 1878, o *American Journal of Mathematics*; e o sueco Mittag-Leffler, a *Acta Mathematica*, em Estocolmo; a publicação da revista *Enseignement Mathématique*, de Genebra, começou em 1899[14].

Dada a complexidade atingida pela Matemática, nos diversos ramos, o exame de sua evolução é apresentado, a seguir, em três grandes áreas: Álgebra, Geometria e Análise.

---

[13] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

[14] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

6.18.1 Álgebra

Como os demais ramos da Matemática, no século XIX, a Álgebra passou por profundas transformações, deixando de ser a mera representação dos números por letras, para se erigir num complexo conjunto de sistemas abstratos, como grupos, anéis, ideais e corpos, cujas noções adquiririam maior precisão ao longo do período. Em menos de um século, a Álgebra deixaria de ser a disciplina considerada como a aritmética simbólica, cujo objeto principal era a teoria das equações, e seu campo, os números, para se constituir numa estrutura algébrica. Nessa evolução, os nomes de Gauss, Abel, Galois, Cauchy, Cayley, Dedekind, Dirichlet, Boole, Hamilton, Grassmann, Weierstrass, Sylvester, Pierce, Frege, Hermite e Hilbert são de grande relevância pelo pioneirismo e descobertas, em campos constitutivos da Álgebra moderna, como os da Teoria dos Números, da Teoria das Equações Algébricas, da Teoria dos Grupos, da Álgebra linear, da Álgebra da Lógica e da Álgebra comutativa.

6.18.1.1 Teoria dos Números

O objeto de estudo da Teoria dos Números é o sistema de números inteiros (... -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3...), assunto de capital importância da Matemática, desde os gregos. Euclides já demonstrara o famoso Teorema Fundamental da Aritmética, segundo o qual, todo número inteiro "n" maior que 1 pode ser representado de modo único como um produto de fatores primos, razão do grande fascínio dos matemáticos pelos números primos. Ao longo da História da Matemática, o assunto mereceu muitos estudos, tendo permanecido o interesse no século XIX, quando o tema teria grande desenvolvimento.

Adrien-Marie Legendre (1752-1833), autor de *Ensaios sobre os Números* (1798, reeditado em 1808, e com apêndices em 1816 e 1825) e de *Teoria dos Números* (1830), contribuiu, de forma decisiva, para o desenvolvimento do tema, ao examinar sua evolução, ao sistematizar seu exame e ao formular a famosa Lei da Reciprocidade Quadrática, que viria a ser demonstrada por Gauss.

Considera-se, contudo, que a moderna Teoria dos Números se iniciou com a *Disquisitiones Arithmeticae* (Pesquisas Aritméticas), de 1801, de Gauss, tida por muitos como uma das obras-primas da Matemática: "ela prega, por exemplo, a necessidade de rigor meticuloso em Matemática... a Teoria dos Números ultrapassa em muito todos os trabalhos feitos em teoria das funções ou em Geometria até ao menos a metade do século. Ela preside com a Álgebra pura o nascimento das Matemáticas modernas tais como serão

concebidas no século XX"[15]; das sete seções do livro, apenas a última não trata da Teoria dos Números. O subsequente desenvolvimento da Teoria, objeto de grande interesse, de intensa pesquisa e de crescente complexidade, teria um desdobramento com repercussões em vários campos da Matemática.

Apesar de sua intensa atividade em diversos campos, Gauss considerava "a Matemática a joia das Ciências, e a Aritmética a joia da Matemática", o que explica seu interesse, desde muito jovem, pela Teoria dos Números. Nesse sentido, sua *Disquisitiones Arithmeticae* é um marco na evolução do assunto. Do total de sete seções, as quatro primeiras são, essencialmente, uma reformulação mais compacta da Teoria dos Números do século XVIII; a quinta versa a respeito da Teoria das Formas Quadráticas binárias; a sexta, de várias aplicações; e a sétima seção trata da resolução da equação ciclotômica geral de grau primo[16].

Gauss reapresentou nessa obra sua demonstração do Teorema Fundamental da Álgebra, formulada por Albert Girard (1595-1632) em *L'Invention en Algèbre*, de 1629, pelo qual qualquer equação algébrica de grau "n" com coeficientes reais tem, pelo menos, uma raiz e, consequentemente, "n" raízes, ou, em outros termos, qualquer equação algébrica possui uma raiz de expressão "a+bi", na qual a e b representam números reais e "i" a raiz quadrada de "–1".

Ainda no *Disquisitiones Arthmeticae*, Gauss comprovaria o Teorema Fundamental da Aritmética, conhecido desde Euclides. Os números inteiros complexos de forma "a+bi", introduzidos por Gauss, e hoje conhecidos como "inteiros de Gauss", reaparecem na quinta seção da obra, relativa à Teoria das formas quadráticas, na qual também são introduzidas a noção de congruência e uma Teoria sistematizada de congruência, que serão importantes para os conceitos de equivalência, estruturas de anéis, corpos finitos[17]. Com vistas a generalizar sua Teoria dos Resíduos Quadráticos, Gauss publicaria, em 1832, *Theoria residuorum biquadraticorum*.

6.18.1.1.1 Números Primos

De acordo com o Teorema Fundamental da Aritmética, é a partir dos números primos que os outros números inteiros são formados, por multiplicação. Daí o interesse, desde a Antiguidade grega, por esses números, quando foram obtidas provas da infinitude dos primos e

---

15 TATON, René. *La Science Contemporaine.*
16 BOYER, Carl. *História da Matemática.*
17 DAHAN-DALMENICO, Amy; PEIFFER, Jeanne. *Une Histoire des Mathématiques.*

Eratóstenes criou seu famoso "crivo" para determinar os números primos inferiores a um inteiro dado "n". O teorema de Euclides, da infinitude dos primos, seria generalizado por Dirichlet, ao mostrar que toda progressão aritmética – a, a+d, a+2d, a+3d ... –, na qual a e d são primos entre si, contém infinitos números primos. A fórmula de Eratóstenes foi aprimorada por Ernst Meissel, em 1870, que mostrou que o número de primos inferiores a 10^8 é 5.761.455. Em 1893, o matemático dinamarquês Bertelsen anunciou que o número de primos abaixo de 10^9 é 50.847.478. No século XIX, foram elaboradas várias tabelas de números primos, sendo a maior (mas não publicada) a do professor J.P. Kulik (1773-1863), da Universidade de Praga, que cobria até o número 10 milhões[18]. Apesar de todos os esforços, não há procedimento prático para testar se um número grande é primo. O francês Anatole Lucas, em 1876, descobriu o número primo, 2^{127}-1, com 39 algarismos, que seria o maior, até meados do século XX.

A distribuição dos primos sempre aguçou, também, a curiosidade dos estudiosos. Gauss formularia o Teorema dos Números Primos, pelo qual, número de primos menores que um dado inteiro "a" se aproxima assintoticamente do quociente a/lna quando "a" cresce indefinidamente[19]; o teorema seria provado, independentemente, em 1896, pelo francês Jacques Hadamard e pelo belga C. J. Vallée Poussin.

6.18.1.1.2 Números Transcendentes

O matemático francês Joseph Liouville (1809-1882), editor do famoso *Journal*, construiu, em 1844, uma classe de números não algébricos que viriam a ser conhecidos como "transcendentes". Os números "π" (pi) e "e" (base dos logaritmos) são transcendentes, mas a prova para o número "e" só foi dada em 1873, pelo matemático francês Charles Hermite, e o do "π" e do "p", em 1882, pelo alemão C. L. Ferdinand Lindemann (1852-1939), em artigo no *Matematische Annalen*[20]. A demonstração da transcendência de π (pi) resolveu, depois de cerca de 25 séculos, o problema da quadratura do círculo ou o da construção, com apenas régua e compasso, de um quadrado com área igual de um círculo dado.

---

[18] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
[19] BOYER, Carl. *História da Matemática.*
[20] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

6.18.1.1.3 Números Reais

O estudo da Teoria dos Números Reais adquiriu extraordinária importância no século XIX, em função dos requerimentos da Análise por uma rigorosa fundamentação das bases do Cálculo infinitesimal, até então sem adequado rigor analítico. A necessidade de uma formulação precisa, sem ambiguidade, da noção de limite para a estruturação rigorosa do Cálculo seria a principal determinante da evolução da Teoria dos números reais, no que deve ser salientada a obra de Weierstrass. Como o desenvolvimento do tema é de especial relevância para a Análise, a moderna Teoria dos Números Reais é tratada no âmbito desse ramo da Matemática no capítulo pertinente.

6.18.1.1.4 Números Transfinitos

Na formulação de suas Teorias dos Conjuntos e do Infinito, Georg Cantor desenvolveria sua "Teoria dos Números Transfinitos", numa série de artigos publicados, a partir de 1874, no *Mathematische Annalen* e no *Journal für Mathematik*. Ao criá-la, Cantor estabeleceu uma aritmética dos números transfinitos, análoga à aritmética dos números finitos, procurando mostrar, inclusive, que existem muito mais números irracionais (raízes, logaritmos, transcendentes, π) que racionais (inteiros e frações). No ramo da Análise, a questão dos números transfinitos será abordada no contexto da Teoria dos Conjuntos.

6.18.1.2 Teoria dos Grupos

O exame da Teoria dos Grupos na grande maioria dos livros de História da Matemática inicia-se com a vida e a obra de dois gênios precoces, o norueguês Niels Abel e o francês Evariste Galois, mortos, o primeiro, aos 26 anos, de tuberculose, e na miséria; e o segundo, num duelo, aos 20 anos de idade. Corresponderia, no entanto, mencionar os trabalhos pioneiros, no século anterior, de Lagrange (1770/71) e de Paolo Ruffini (1799); e de Cauchy, em 1815, publicado no *Journal* da Escola Politécnica sobre a Teoria das substituições, o qual, por certo, foi do conhecimento de Abel e de Galois.

Niels Abel (1802-1829), em artigo de 1824 (*Sobre a resolução algébrica de equações*), daria a primeira prova de que não poderia haver fórmula geral, expressa em operações algébricas, para as equações quínticas. Abel definiria funções algébricas, racionais e inteiras (polinomiais), classificaria as funções algébricas, e enunciaria o problema como o de expressar suas raízes em

termos de funções algébricas dos coeficientes. Em seguida, Abel enunciaria que "se uma equação é resolúvel algebricamente, suas raízes sempre podem ser postas em tal forma que todas as funções algébricas que a compõem podem ser expressas como funções racionais das raízes de equação dada". Aplicando tais considerações a teoremas sobre funções simétricas, a prova do teorema central eventualmente resulta de uma sequência de argumentos de *reductio ad absurdum*[21]. O conjunto da obra de Abel (convergência de série, integrais, funções elípticas, equação de 5° grau) não teria repercussão imediata, ainda que tenham sido publicados no *Journal* de Crelle.

Evariste Galois (1811-1832) teve uma vida agitada, devido à sua atividade política republicana antibourbon. Tendo fracassado em sua tentativa para ingressar na Escola Politécnica, entrou para a Escola Normal para se preparar para o ensino de Matemática, da qual seria expulso por suas críticas ao diretor da Escola. Em 1829, aos 17 anos, escreveu uma *Memória* sobre a teoria das equações, à Academia de Ciências de Paris, mas que, infelizmente, foi perdida por Augustin Cauchy; refez Galois o trabalho e o reapresentou, em 1830, a Fourier, secretário-permanente da Academia, mas, infelizmente, devido à sua morte súbita, perdeu-se o manuscrito. Uma terceira tentativa de artigo à Academia, em 1831, fracassaria, ao ser o trabalho devolvido por Siméon Poisson, com o pedido de mais demonstrações. Preso duas vezes, em 1831, por motivos políticos, Galois seria desafiado – por uma razão até hoje não esclarecida –, a um duelo, no qual, ferido, na manhã de 30 de maio, morreria no dia seguinte.

O extraordinário valor da obra de Galois está em sua concepção da Teoria dos Grupos, na qual expressou as propriedades fundamentais do Grupo de Transformações, a que pertencem as raízes de uma equação algébrica, demonstrou que o corpo de racionalidade dessas raízes era determinado por aquele grupo, e salientou a posição central ocupada pelos subgrupos invariantes. Problemas antigos, como os da trissecção do ângulo, da duplicação do cubo e da equação cúbica e biquadrática, bem como a resolução de uma Equação algébrica de qualquer grau, encontrariam seu lugar natural na teoria de Galois[22].

Na véspera do fatídico duelo, Galois escreveu seu testamento científico, uma carta endereçada a seu amigo Auguste Chevalier, na qual, além de confiar o conjunto de sua obra, se encontravam algumas de suas descobertas não publicadas, como i) sua noção de corpo (já esboçada por Gauss em 1801); ii) a de polinômio irredutível sobre um corpo dado (já utilizado por Abel), que seria desenvolvido por Riemann e Dedekind;

---

[21] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

[22] STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

e iii) os princípios e propriedades da Teoria dos Grupos[23]. Nessa carta, Galois pedia a seu amigo que sua carta fosse entregue a Gauss ou a Jacobi, o que não foi feito. Em 1843, por insistência de um irmão de Galois e de Chevalier, anunciou Liouville, na Academia de Ciências, que publicaria, em seu *Journal*, a carta-testamento de Galois, o que ocorreu somente em 1846, quando, então, passou ao conhecimento público a dimensão de sua obra.

O problema central era a resolução generalizada das equações algébricas, por suas amplas repercussões em vários domínios da Matemática. Para tanto, Galois avançaria muito além dos estudos de seus predecessores (Lagrange, Gauss, Cauchy) sobre a Teoria das Substituições. Como explicou o já mencionado Rousseau, designemos pelas letras a, b e c as três raízes de uma equação algébrica, as quais podem estar dispostas de seis maneiras diferentes, bastando a substituição de uma letra por outra: a b c; a c b; b c a; b a c; c a b e c b a. Tais arranjos formam um "grupo de substituição" (ou de transformação)[24]. Quando se estudam, por exemplo, todas as posições que pode tomar no espaço um icosaedro (sólido de 20 faces iguais), verifica-se que o conjunto dessas posições constitui um grupo, pois em cada uma das posições uma face é substituída por outra. Esse grupo é o mesmo que o das raízes da equação algébrica quíntica. Galois descobriria, assim, certas funções de "a, b e c" que permaneceriam invariáveis com as substituições, propriedade fundamental na generalização da resolução das equações de 5° grau ou mais. A Teoria de Galois estabeleceu, portanto, um elo entre um problema puramente geométrico e um problema algébrico.

À época da publicação (1846), por Liouville, da carta de Galois, retomou Cauchy, em 1844, o estudo dos Grupos (já tratado em 1815), dedicando-se aos grupos abstratos de ordem finita. Enrico Betti, na Itália, Cayley, na Inglaterra, Sylow, na Noruega, Krönecker e Dedekind, na Alemanha, difundiram a obra de Galois, explicitando alguns raciocínios, precisando algumas aplicações da Teoria dos Grupos e da Teoria das Equações a diversos domínios da Matemática. Especial menção, contudo, merecem os trabalhos de Camille Jordan, que, em 1870, publicou seu *Traité des Substitutions*, no qual efetuou uma ampla e completa avaliação da obra de Galois, de Felix Klein e de Sophus Lie, que fariam uso das descobertas na Geometria.

6.18.1.3 Estruturas Algébricas

A Álgebra foi o ramo da Matemática de maior interesse para os matemáticos britânicos do século XIX, os quais formaram uma verdadeira

[23] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[24] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

Escola algébrica. Grandes vultos, como Peacock, De Morgan, Cayley, Sylvester e Hamilton, dariam uma contribuição decisiva na formulação e desenvolvimento das chamadas Álgebra simbólica e linear. Cauchy, Jacobi, Grassmann, Clebsch e Hermite dariam, igualmente, contribuições importantes nos estudos para o desenvolvimento das estruturas algébricas. Sob este título, será examinada a evolução na Álgebra simbólica, na Álgebra linear, nas Álgebras lineares associativas e na Álgebra da Lógica.

6.18.1.4 Álgebra Simbólica

As operações usuais de adição e de multiplicação dos números inteiros são operações binárias: a cada par de inteiros positivos a e b se associam univocamente inteiros c e d, que correspondem, respectivamente, à soma de a+b (c=a+b) e à multiplicação de axb (d=axb). Daí decorrem as chamadas propriedades ou leis básicas. Assim, se a, b e c indicam inteiros positivos:

1 – a + b = b + a (propriedade comutativa da adição)
2 – a x b = b x a (propriedade comutativa da multiplicação)
3 – (a+b) + c = a + (b+c) (propriedade associativa da adição)
4 – (a x b) x c = a x (b x c) (propriedade associativa de multiplicação)
5 – a x(b + c) = (a x b)+(a x c) (propriedade distributiva da multiplicação em relação à adição).

Essas cinco propriedades básicas dos números positivos também podem ser consideradas como propriedades de outros sistemas de elementos diferentes, ou seja, há uma estrutura algébrica (as cinco propriedades e suas consequências) comum ligada a muitos sistemas diferente[25].

Os primeiros indícios dessa nova visão da Álgebra surgiriam na Inglaterra, com o trabalho de George Peacock (1791-1858), que, em seu *Treatise on Algebra*, de 1830, procurou dar à Álgebra um tratamento lógico, do tipo dos *Elementos*, de Euclides. George Peacock distinguiria a Álgebra aritmética da Álgebra simbólica, sendo a primeira a aritmética de letras, corrente desde Viète, e a Álgebra simbólica, aquela cujos símbolos podem representar "quaisquer objetos, sobre os quais todas as operações são possíveis *a priori*"[26].

A Álgebra simbólica adota as operações da Álgebra aritmética, mas sem as restrições limitativas de sua aplicação a certas operações. A justificativa da extensão da Álgebra aritmética para a simbólica foi chamada,

---

[25] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
[26] DAHAN-DALMEDICO, Amy; PEIFFER, Jeanne. *Une Histoire des Mathématiques.*

por Peacock, de “princípio da permanência das formas equivalentes”. Assim, as operações da Álgebra simbólica são determinadas pelas da Álgebra aritmética enquanto as duas Álgebras caminham juntas, mas pelo princípio da permanência em todos os outros casos[27]. Esse princípio tem, hoje, apenas valor histórico, mas desempenhou um papel importante em temas como o do desenvolvimento inicial da aritmética do sistema de números complexos e o da extensão das leis da potenciação, do caso de expoentes inteiros positivos para outros mais gerais.

6.18.1.5 Álgebra Linear

O estudo dos sistemas de equações lineares (aquelas em que – algébrica, diferencial ou outra –, se dadas duas soluções, a soma dessas soluções é igualmente uma solução) é o ponto de partida da Álgebra linear[28]. Haveria, no século XIX, um grande desenvolvimento desse campo, graças aos estudos sobre problemas lineares, como determinantes e matrizes, formas algébricas e invariantes, teoria dos quaterniões, números hipercomplexos e a concepção de novos tipos de Álgebra[29]. Ao mesmo tempo, a Álgebra linear, antes confinada ao estudo das equações algébricas de 1° grau, se estenderia, progressivamente, para equações diferenciais e derivadas parciais. No exame do conjunto da Álgebra linear devem ser ressaltadas as contribuições de Cauchy, Jacobi, Cayley, Sylvester, Hermite, Pierce (pai e filho), Grassmann e Clebsch.

6.18.1.6 Determinantes e Matrizes

Seus conceitos estão estreitamente ligados, oriundos dos estudos pioneiros, no século XVIII, sobre as equações lineares de Leibniz, Mac Laurin, Cramer, Lagrange e Laplace. A partir de Cauchy, com a leitura de sua *Memória*, de 84 páginas, no Instituto de França, em 1812, seguido de outros artigos nos anos seguintes, iniciava-se a definitiva história dos “determinantes”, termo criado por ele. Num artigo de 1816 sobre propagação de ondas, aplicou Cauchy a linguagem dos determinantes a um problema de Geometria e a um de Física. Importante contribuição seria devida, também, a Carl Gustav Jacobi, em seu *De formatione et proprietatibus determinantium*, de 1841, com

[27] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
[28] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
[29] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

seu estudo sobre o determinante funcional, chamado de "jacobiano", por Sylvester, que, por sua vez, desenvolveu a teoria e ampliou o campo de sua aplicação. Extensão do conceito de determinantes, as "matrizes" aparecem nos estudos de Cayley sobre composição das transformações homográficas, a partir de 1843. O irlandês William Rowan Hamilton introduziu, em 1853, as matrizes em sua obra *Lectures on Quaternions*, assim como Grassmann, em seu *Cálculo geométrico*. Somente em 1858, apresentaria Cayley, com precisão, a definição e as propriedades fundamentais das matrizes. O sucesso desse novo algoritmo e do Cálculo matricial foi enorme e rápido, conforme atesta sua crescente aplicação, inclusive até hoje em dia.

A introdução das matrizes e da teoria dos invariantes favoreceria o estudo das propriedades gerais dos determinantes, o que incentivaria a publicação, na segunda metade do século, de vários manuais e compêndios sobre as propriedades dos determinantes e sua aplicação em Álgebra clássica, Geometria e Análise[30].

A profícua e estreita colaboração de dois algebristas ingleses, Cayley e Sylvester, iniciada em 1846, em diversos temas da Álgebra, seria responsável pelo grande impulso da Álgebra linear, inclusive no desenvolvimento das teorias dos determinantes, das matrizes, dos invariantes e das formas, na segunda metade do século XIX.

Arthur Cayley (1821-1891) ocupa um lugar de relevo na História da Matemática, por suas contribuições pioneiras à Geometria analítica, à Teoria das transformações, à Teoria dos determinantes, às Geometrias de dimensões superiores, à Teoria da partição, à Teoria das curvas e superfícies, ao estudo de formas binárias e ternárias, e à Teoria das funções abelianas. Apesar de ter escrito cerca de 200 artigos sobre Álgebra e Geometria, reunidos na obra *The Collected Mathematical Papers of Arthur Cayley* (1889/97), seu único livro é de Análise: *Treatise on Elliptical Functions*, de 1876. No conjunto de sua obra, ressaltam o desenvolvimento da Teoria da invariância algébrica e a ideia da unidade das Geometrias euclidiana e não euclidiana. Seu estudo sobre matrizes data de 1845, no *On the Theory of Linear Transformations*.

James Joseph Sylvester (1814-1897) escreveu diversos artigos sobre a Teoria da eliminação, Teoria das transformações, formas canônicas, determinantes, cálculo de formas, Teoria das partições, Teoria dos invariantes, raízes latentes de matrizes, Teoria das Equações, Teoria dos Números, sistemas articulados, Álgebra de várias variáveis e Teoria das Probabilidades[31]. Foi professor de Física na Universidade de Londres,

[30] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[31] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

e, em 1884, de Geometria, na Universidade de Oxford. Viveu Sylvester, por dois períodos, nos EUA, tendo sido professor de Matemática na Universidade Johns Hopkins e um dos fundadores do *American Journal of Mathematics* (1878). São famosas sua Teoria dos divisores elementares, de 1851, (redescoberta por Weierstrass em 1868), e sua Lei da inércia das formas quadráticas, de 1852 (já conhecida por Jacobi e Riemann, mas não publicada)[32]. A Sylvester se devem alguns termos em uso generalizado, como invariante, covariante, contravariante, cogrediente e sizígio.

6.18.1.7 Teoria das Formas e Teoria dos Invariantes

O estudo das formas algébricas, ou funções homogêneas de muitas variáveis independentes, desenvolveu-se na primeira metade do século em função dos avanços em Geometria analítica. A noção de invariante estava subjacente em diversos trabalhos de Lagrange, Gauss, Cauchy e Jacobi, mas o conceito foi explicitado em 1841, por George Boole, seguido por uma série de estudos, a partir de 1845, de Cayley e Sylvester, sobre as teorias das formas algébricas (ou quânticas, como preferia chamá-las Cayley) e dos invariantes. Dentre os trabalhos mais conhecidos estão os nove artigos *Memoirs on Quantics* (1854/78) de Cayley[33].

As teorias seriam estudadas e aperfeiçoadas nos trabalhos dos alemães Ludwig Otto Hesse (1811-1874), que empregava regularmente coordenadas homogêneas e determinantes; Sigfried Aronhold (1819-1884), que desenvolveu um simbolismo na Teoria dos invariantes; e Rudolf Clebsch (1833-1872), que desenvolveu o simbolismo de Aronhold, o qual se tornaria um método aceito para investigação sistemática dos invariantes algébricos. O algebrista e analista francês Charles Hermite (1822-1901), que escreveu sobre Teoria dos Números, matrizes, frações contínuas algébricas, invariantes e covariantes, quânticos, integrais definidas, Teoria das Equações, funções elípticas, funções abelianas e Teoria das Funções, continuaria e desenvolveria grande parte do trabalho de Cayley e Sylvester. Cabe, ainda, mencionar a contribuição do inglês George Salmon (1819-1904) quanto à divulgação das Teorias e de sua aplicação na Geometria: *Conic Sections* (1848), *Higher Plane Curves* (1852), *Modern Higher Algebra* (1859) e *Analytic Geometry of Three Dimensions* (1862).

32 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*
33 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

6.18.1.8 Quaterniões

O matemático irlandês William Rowan Hamilton (1805-1865) foi professor de Astronomia da Universidade de Dublin, Astrônomo Real da Irlanda (aos 22 anos) e Diretor do Observatório de Dunsink; estudou a teoria óptica (*A Theory of Systems of Rays*), escreveu sobre equações de 5° grau e soluções numéricas de equações diferenciais, e contribuiu para a Teoria das matrizes, com o Teorema, a Equação e o Polinômio de Cayley-Hamilton. Sua mais famosa descoberta foi a dos "quaterniões", uma generalização de números complexos com a propriedade de que a lei comutativa a eles não se aplica.

Numa comunicação à Academia Irlandesa, em 1833, Hamilton apresentou um artigo em que a Álgebra dos números complexos era enfocada como uma Álgebra de pares ordenados de números reais; sobre o tema publicou, em 1835, sua *Theory of Algebric Couples*. Durante algum tempo, meditou sobre as Álgebras de ternos e quádruplos de números reais, mas encontrava dificuldades de definir a multiplicação de maneira a preservar as leis usuais dessa operação. Em 1843, num momento de intuição, ocorreu-lhe que deveria sacrificar essas leis, o que significou a criação da primeira Álgebra não comutativa[34]. Em 1853, publicou *Lectures on Quaternions*, mas seu *Elements of Quaternions* é póstumo (1866). A parte mais conhecida do Cálculo dos quaterniões é a da Teoria dos vetores, que incorporava uma parte da Teoria da extensão, de Grassmann. A grande importância dos quaterniões na História da Matemática reside, como escreveu o já citado Howard Eves, no fato de que sua criação libertou a Álgebra de suas amarras com a Aritmética dos números reais, abrindo, assim, as comportas da Álgebra abstrata.

6.18.1.9 Álgebras Lineares Associativas

A primeira contribuição de um matemático americano à Álgebra moderna foi a de Benjamin Pierce (1809-1880), professor de Matemática em Harvard. Após apresentar seu trabalho sobre Álgebra linear à Academia Americana de Artes e Ciências, publicou Peirce, em 1870, a *Linear Associative Algebras*, um dos primeiros estudos sistemáticos dos números hipercomplexos, o qual reapareceria, em 1881, no *American Journal of Mathematics*, com amplas notas e adendos preparados por seu filho, Charles Pierce (1839-1914). As Álgebras lineares associativas incluem a Álgebra ordinária, a Análise vetorial e os Quaterniões como casos especiais; Benjamin Pierce chegou a construir tabelas de multiplicação

[34] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

para 162 álgebras, algo impensável no início do século, quando prevalecia a ideia de que só existia uma Álgebra[35]. Charles Pierce continuou a obra de seu pai, mostrando que, de todas essas Álgebras, somente três têm divisão definida: a Álgebra ordinária real, a Álgebra dos números complexos e a Álgebra dos quaterniões.

6.18.1.10 Teoria da Extensão

Hermann Gunther Grassmann (1809-1877), um dos pioneiros da Álgebra moderna, como William R. Hamilton e George Boole, era um homem de vastos conhecimentos. Professor de Matemática, Física, Química, História, Geografia, Alemão e Religião, nunca foi professor universitário, mas de nível médio, na sua cidade natal, Stettin, na Prússia. Foi crítico de ópera, escreveu textos didáticos de latim, alemão e Matemática, traduziu o *Rig-Veda* (ainda em uso). Em 1844, publicou a primeira edição do *Cálculo da Extensão* (*Ausdehnungslehre*) que, pela originalidade das ideias, complexidade do assunto, pouco renome na comunidade matemática e densidade do texto, permaneceria praticamente desconhecido. Na obra, Grassmann tratou do espaço vetorial n-dimensional, enfatizou o conceito de dimensão, salientou o desenvolvimento de uma ciência abstrata do "espaço" e dos "subespaços", definiu a Matemática pura como a Ciência das formas, opondo-se assim, à concepção da Matemática como Ciência das quantidades. Os conceitos básicos passariam a ser os de igualdade e de combinação. Assim, a Ciência da extensão seria o fundamento abstrato da Geometria, liberada de conceituações espaciais e de restrições a três dimensões[36]. Para tornar mais claras e compreensíveis suas ideias, uma nova edição, reformulada, de sua obra de 1844, foi publicada em 1862, cujo texto elaborava sobre os conceitos de dependência e independência linear de vetores, discutia subespaços, suas uniões e intersecções, e conjuntos geradores. Distinguiu entre produtos "interiores" e "exteriores" e enfatizou os diferentes tipos de multiplicação (produtos algébricos, produtos de matrizes). Para divulgar e esclarecer sua obra, Grassmann escreveria vários artigos no *Journal* de Crelle, o que muito contribuiu para o conhecimento de seu trabalho.

A obra de Grassmann seria uma das fontes principais para o desenvolvimento, que se seguiu, da Análise vetorial, com George

[35] BOYER, Carl. *História da Matemática.*
[36] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

Stokes (1819-1903), James Clerk Maxwell (1831-1879), Oliver Heaviside (1850-1925), Josiah Gibbs (1839-1903) e Hendrik Lorentz (1853-1928).

6.18.1.11 Álgebra Comutativa

O que se convencionou, atualmente, chamar de Álgebra comutativa, compreende, principalmente, a Teoria dos anéis, dos ideais e dos corpos, e tem a participação da Teoria dos Números, da Geometria algébrica e da Teoria das Funções Algébricas[37].

Um dos maiores desafios enfrentados pelos matemáticos, desde meados do século XVII, foi o de provar que não existia solução, em números inteiros, para o famoso Teorema de Fermat (1637), isto é, para a Equação "$x^n + y^n = z^n$", em que "n" seja maior que "2". Em 1847, Gabriel Lamé e Augustin Cauchy anunciaram, em sessão da Academia de Ciências de Paris, que estavam prestes a demonstrar o Teorema. Depois de analisar as poucas informações avançadas pelos dois matemáticos franceses, o alemão Ernst Kummer (1810-1893) escreveu a Joseph Liouville, argumentando ser impossível tal demonstração com a introdução dos números imaginários, pois invalidava o uso de uma propriedade dos números, conhecida como fatoração única, verdadeira para todos os números naturais. A fatoração única, descoberta por Euclides, significa existir uma só combinação de números primos que, ao serem multiplicados, produzirão determinado número (exemplos: 18 = 2x3x3 e 35 = 5x7)[38]. A utilização de número imaginário por Lamé e Cauchy para demonstrar o Teorema era, assim, uma falha. Na carta a Liouville, Kummer adiantou, ainda, que nenhuma matemática conhecida poderia abordar os números primos irregulares (como 31, 59 e 67), pelo que criara, em 1844, o que chamava de "número complexo ideal", cuja aplicação para a demonstração do Teorema de Fermat não poderia ser generalizada, ou seja, conseguiu provar o Teorema para um grande número de expoentes, mas não foi capaz de estabelecer uma prova geral. É conveniente registrar que Legendre e Dirichlet demonstraram o Teorema para "n= 5" em 1825, e Lamé e Lebesque para "n = 7", em 1840.

Dois aspectos importantes da obra de Galois foram o de ter tornado a noção abstrata de "grupo" fundamental para a Teoria das Equações, e o de levar ao tratamento aritmético da Álgebra, o que significaria o desenvolvimento do tratamento da estrutura algébrica em termos de vários corpos de números. O conceito de "corpo" já estava implícito na

---

37 DAHAN-DALMEDICO, Amy; PEIFFER, Jeanne. *Une Histoire des Mathématiques.*

38 SINGH, Simon. *O Último Teorema de Fermat.*

obra de Galois e Abel, mas foi Dedekind quem, pela primeira vez, deu uma definição explícita de corpo numérico, como uma coleção de números que formam um grupo abeliano em relação à adição e à multiplicação, e no qual a multiplicação é distributiva em relação à adição[39]. Exemplos simples são a coleção dos números racionais e o sistema dos números reais.

Desde a década de 50, Dedekind desenvolveu um tratamento abstrato da Teoria dos Grupos. Ao publicar suas conferências sobre a Teoria dos Números, Dedekind, em apêndice a essa obra, apresentou sua Teoria dos Ideais, a qual apareceria em diversas futuras edições. Dedekind generalizaria a ideia de inteiro com a Teoria dos inteiros algébricos – números que satisfazem a equações polinomiais com coeficientes inteiros e primeiro coeficiente igual a um. Tal sistema não forma um corpo, e tais generalizações de "inteiro têm o preço de se perder a fatoração única". Por isso, Dedekind adotaria a ideia de Kummer, de número complexo ideal, e introduziria na Aritmética o conceito de Ideal, baseado na noção de Anel. Conforme explicou Boyer, na obra mencionada, um conjunto de elementos forma um Anel se i) é um grupo abeliano em relação à adição; ii) o conjunto é fechado em relação à multiplicação; e iii) a multiplicação é associativa e é distributiva em relação à adição. A fatoração única pode ser preservada com a Teoria dos Ideais, objetivo desse exercício matemático. O trabalho de Dedekind teria grande influência nos algebristas do século XX.

6.18.1.12 Geometria Algébrica

Dois trabalhos importantes, publicados em 1882, por três matemáticos alemães, sobre a Teoria aritmética das quantidades algébricas, seriam pioneiros no futuro desenvolvimento da Geometria algébrica. Grande impacto na comunidade algebrista teriam o estudo de Leopold Kronecker e o artigo conjunto de Dedekind e Weber. Como esclareceu o citado Boyer, o tratamento puramente algébrico de uma superfície de Riemann "abriu uma estrada totalmente nova para a Geometria pós-Riemann, revelando-se, de fato, ser um dos mais frutíferos caminhos seguidos por pesquisadores do século XX".

6.18.1.13 Álgebra da Lógica

A criação da Álgebra da Lógica, ou Álgebra booleana, ou Álgebra dos Conjuntos, foi o resultado de uma preocupação dos matemáticos, nítida

[39] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

no século XIX, de dar um tratamento matemático à Lógica tradicional, de origem grega e sistematizada por Aristóteles. Essa nova abordagem, de caráter científico, começava pela análise das formas da linguagem, com o intuito de substituir a linguagem corrente por uma linguagem simbólica. O êxito desse intento resultou na "Lógica simbólica" ou "Lógica matemática", na qual "as várias relações entre proposições, classes, etc., são substituídas por fórmulas, cujos significados estão livres de ambiguidades tão comuns à linguagem corrente"[40]. Esse movimento se revelou mais nitidamente em meados do século, na Grã-Bretanha, nas obras de De Morgan e Boole.

Augustus De Morgan (1806-1870), professor do University College, de Londres, presidente da Sociedade Matemática de Londres e autor de *Elementos da Aritmética* (1830) foi o primeiro a apresentar a Lógica sob uma forma matemática, e a analisar, sob o ângulo lógico, o conjunto dos símbolos, das operações e das leis matemáticas, em seus livros *Lógica Formal*, de 1847, e *Trigonometria e Álgebra Dupla*, de 1849. Para De Morgan, a Matemática era um estudo abstrato de símbolos sujeitos a conjuntos de operações simbólicas. Além de propor o uso do traço oblíquo (/) para expressar as frações, De Morgan enunciaria o princípio da dualidade da Teoria dos Conjuntos, para o qual formulou duas Leis (Leis de Morgan).

Na mesma época, o inglês George Boole (1815-1864) convenceu-se de que a Álgebra poderia ser aplicada à Lógica. Desenvolvendo algumas ideias sobre método lógico, e confiante no raciocínio simbólico, publicaria Boole, em 1847, *Análise Matemática da Lógica*, na qual criticava a concepção corrente da Matemática como Ciência da grandeza e do número, e defendia uma visão mais ampla:

> ...poderíamos com justiça tomar como característica definitiva de um verdadeiro Cálculo ser um método que se apoia no uso dos símbolos, cujas leis de combinação são conhecidas e gerais, e cujos resultados admitem uma interpretação consistente... É com base nesse princípio geral que eu pretendo estabelecer o Cálculo da Lógica, e que reivindico para ele um lugar entre as formas reconhecidas da Análise matemática...

A obra seria muito bem recebida por De Morgan. Anos mais tarde, Boole escreveria *As Leis do Pensamento* (1854), tornando-se, na realidade, o fundador da Lógica matemática:

> O objeto deste tratado é o de estudar as leis fundamentais das operações do espírito por meio das quais se efetua o raciocínio, de expressá-las na linguagem

[40] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

> simbólica do Cálculo e, sobre essa base, edificar a Ciência da Lógica, elaborar seu método a fim de fazê-la a base de um método geral para a aplicação de uma doutrina matemática das probabilidades...

Ao mesmo tempo, estabeleceu nessa obra uma nova Álgebra, chamada de Álgebra booleana. Defendia Boole que o caráter essencial da Matemática residia em sua forma e não em seu conteúdo. Sob sua influência se constituiria uma Escola de Lógica simbólica que prepararia a unificação progressiva da Lógica e da Matemática[41], devendo-se ressaltar, nesse sentido, as contribuições de William S. Jevons, Charles Peirce e Ernest Schröder.

Numa série de obras (*Begriffsschrift*, de 1879, *Os Fundamentos da Aritmética*, de 1884, e *As Leis Básicas da Aritmética*, de 1893/1903), Friedrich Gottlob Frege (1848-1925) analisou os conceitos da Lógica, introduzindo variáveis proporcionais ao lado de variáveis clássicas, e procurou transcrever o conjunto das propriedades aritméticas com ajuda de sua "escrita de conceitos". Em seu trabalho, procurou fundamentar a Matemática em bases sólidas. Sua influência no século XX se exerceria por meio das obras de Bertrand Russell e Alfred Whitehead.

Outro grande expoente da Lógica matemática foi o italiano Giuseppe Peano (1858-1932). Publicou, de 1894 a 1908, seu famoso *Formulário Matemático*, coletânea de princípios de Lógica e de resultados essenciais de diferentes ramos da Matemática, transcritos em linguagem formal, graças a um simbolismo engenhoso e cômodo[42]. Seu intuito era, assim, o de expressar toda a Matemática, desde seus postulados fundamentais, em termos de um Cálculo lógico, usando sua notação lógica. Peano escreveu, ainda, *Cálculo diferencial e princípios do cálculo integral* (1884), *Lições de Análise infinitesimal* (1893), sobre Teoria Geral das Funções, e *Cálculo geométrico* (1888), sobre Lógica matemática.

6.18.2 Geometria

Como a Álgebra e a Análise, a Geometria foi objeto de grande interesse e de intensa pesquisa por parte dos matemáticos do século XIX, o que resultaria num período de extraordinárias realizações que mudariam, completamente, as concepções milenares que a caracterizavam. A Geometria seria objeto, portanto, de uma verdadeira revolução que abalaria sua tradicional estrutura e abriria novos campos de atividade.

---

41 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

42 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

A Geometria euclidiana, absoluta desde os tempos dos grandes geômetras gregos (Euclides, Apolônio e Arquimedes), seria submetida a um exame rigoroso de sua fundamentação (axiomas e postulados), o que viria resultar na criação das chamadas Geometrias não euclidianas. Ao mesmo tempo, outros campos foram abertos, como o da Geometria descritiva de Monge, o da Geometria projetiva, por Poncelet, e o da Geometria diferencial, por Gauss; a Geometria algébrica (Cayley), por cair no campo da Álgebra, foi examinada nesse campo. Na fundamentação da Geometria projetiva, surgiria o debate entre os defensores do método sintético (Geometria sintética ou pura) com a utilização dos instrumentos da Geometria, e os que sustentavam a Geometria analítica, criada por Descartes, em que as expressões geométricas são traduzidas em expressões algébricas. Aliás, o milenar problema de resolver a questão da duplicação do cubo, da trissecção do triângulo e da quadratura do círculo apenas com os instrumentos euclidianos (régua e compasso) seria equacionado. Deve ser, ainda, consignado, o trabalho pioneiro de Möbius no campo da Topologia, que seria sistematizada no século XX[43].

Vários geômetras devem ser mencionados, entre outros, por suas extraordinárias contribuições ao desenvolvimento desse ramo da Matemática: Monge, Legendre, Möbius, Gauss, Poncelet, Lobachevsky, Bolyai, Chasles, Plücker, Steiner, von Staudt, Cayley, Riemann, Beltrami, Grassmann, Klein, Sophus Lie, Clebsch, Hilbert e Poincaré.

6.18.2.1. Geometria Descritiva

A Geometria descritiva foi uma disciplina que surgiu pronta, com seus métodos próprios e um domínio de aplicação já delimitado. Não são conhecidos seus precursores, mas sua origem está na técnica gráfica utilizada pelos práticos havia séculos.

Gaspard Monge (1746-1818), professor da École Polytechnique, não deixou nenhuma obra escrita sobre a Geometria descritiva, mas seus alunos publicaram, em 1799, suas aulas em *Géometrie Descriptive*[44]. Diversos papéis e anotações seriam publicados em 1805 (4ª edição em 1819), sob o título de *Applications de l'analyse à la géometrie*, quando estabeleceu métodos algébricos de Geometria tridimensional, que teria ampla aplicação em engenharia e revolucionaria o "desenho das máquinas".

Desenhista da Escola Militar de Mézières, Monge foi encarregado de desenhar a planta de um forte, com os canhões em lugares a serem

[43] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[44] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

determinados por certos dados experimentais. Seu desenvolvimento de um método de representar objetos tridimensionais por meio de projeções sobre um plano bidimensional seria aprovado pelos militares, que manteriam tal descoberta como segredo absoluto[45]. Assim, a Geometria descritiva consiste em representar, com exatidão, objetos de três dimensões num plano bidimensional, a fim de deduzir suas propriedades geométricas. Professor da Escola Politécnica, Monge ensinaria a seus alunos o seu método que se resume, na realidade, num procedimento gráfico que permitia simplificar a resolução de muitos problemas práticos, como o corte de uma pedra, trabalhos de carpintaria, a construção de máquinas, levantamentos topográficos[46].

Os trabalhos de Monge em "Descritiva" sobre perspectiva e polaridade seriam extremamente úteis para o desenvolvimento posterior da Geometria projetiva por seu aluno Poncelet. Nesse mesmo sentido, seriam, igualmente, influentes, os trabalhos de Charles Julien Brianchon (1785-1864), publicados no *Journal de l'École Polytechnique* (1806), que, retomando o teorema do hexágono, de Pascal, expressaria que "em todo o hexágono circunscrito a uma seção cônica as três diagonais se cortam no mesmo ponto" e por Charles Dupin (1784-1873), engenheiro naval, que estudou diversos problemas da teoria projetiva das cônicas (1817)[47]. Deve-se aduzir, ainda, que com os trabalhos de Monge e de seus discípulos foi generalizado o método de estudo da Geometria por meio de transformações das figuras, ou seja, do estabelecimento de uma correspondência biunívoca entre os elementos de figuras geométricas.

6.18.2.2 Geometria Projetiva

O exame da criação e desenvolvimento da Geometria projetiva suscita, de início, a questão do debate, no século XIX, entre os defensores do método chamado "sintético", de estudo das figuras geométricas por elas mesmas, e os partidários do chamado método "analítico", em que as figuras são representadas algebricamente. Um prêmio chegou a ser oferecido, em 1813, pela Sociedade Científica de Bordeaux, para o melhor ensaio caracterizando a síntese e a análise, e a influência exercida por cada uma. Ainda que Monge adotasse uma posição conciliatória, seu aluno Poncelet, considerado como o criador da Geometria projetiva, era

45 EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
46 DAHAN-DALMENICO, Amy; PEIFFER, Jeanne. *Une Histoire des Mathématiques.*
47 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

ardoroso defensor do método sintético, o que viria a dividir o campo de seus estudiosos em dois: o sintético, no qual se sobressaíram, além de Poncelet, o francês Chasles, o suíço Steiner e o alemão von Staudt; e o analítico, com o francês Gergonne e o alemão Plücker. Numa posição indefinida, se manteve o alemão Möbius.

Além dos trabalhos de Monge, Brianchon e Dupin sobre perspectiva e polaridade, a propósito da Geometria descritiva, a contribuição pioneira de Girard Desargues (1591-1661), por introduzir o conceito de ponto impróprio e de reta imprópria (como sendo a intersecção, a uma distância infinitamente grande, de duas retas e de dois planos paralelos, respectivamente) é comumente mencionada ao se tratar de Geometria projetiva.

Jean-Victor Poncelet (1788-1867), aluno de Monge na Escola Politécnica, participou como oficial do Exército de Napoleão na invasão da Rússia. Feito prisioneiro (1813/14), teve tempo para pensar sobre eventuais bases de uma profunda reforma da Geometria. A publicação de suas ideias, em 1822, sob o título de *Traité des propriétés projectives des figures*, é tida como a data da criação da Geometria projetiva, ao tratar, de modo unificado, a Teoria das seções cônicas, explorando as propriedades conservadas depois de uma projeção (por exemplo, a projeção de uma reta é uma reta, a de uma tangente a uma curva é uma tangente a uma curva, a de uma seção cônica é uma seção cônica)[48], ou estudo das propriedades geométricas que se conservam por projeção central ou perspectiva.

Ardoroso defensor do método sintético, Poncelet considerava que a vantagem aparente da Geometria analítica derivava de sua generalidade; em consequência, procurou tornar bastante gerais seus enunciados de Geometria sintética. Os métodos de base utilizados foram o emprego generalizado da perspectiva e das seções planas, o estudo de diversas transformações geométricas e a introdução de elementos ao infinito e de elementos "ideais" (imaginários)[49].

Formulou Poncelet dois princípios: o da dualidade e o da continuidade. O princípio da dualidade se refere à simetria entre pontos e retas, quando se utilizam elementos ideais no infinito; os papéis desempenhados por essas palavras podem ser permutados numa outra proposição sobre retas e pontos. Assim, pode-se escrever "dois pontos distintos quaisquer determinam uma, e uma só, reta à qual ambos pertencem" e "duas retas distintas determinam, um a um, e um só, ponto que pertence a ambos". Essa simetria, que resulta em pares dos teoremas da Geometria projetiva, é o princípio da dualidade. O outro princípio, o da continuidade, se refere a que da demonstração de

[48] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
[49] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

um teorema para uma situação real se obtém o teorema para uma situação imaginária[50]. O *Traité* também contém a Teoria dos polígonos inscritos numa cônica e circunscritos noutra (o chamado problema de fecho, de Poncelet).

Vários geômetras acompanhariam Poncelet na adoção de métodos de Geometria pura, sem apelar para a Álgebra, com o intuito de criar uma doutrina autônoma, rival da Geometria analítica. Michel Chasles (1798-1880), formado na Escola Politécnica, e professor de Geometria na Sorbonne, escreveu *Aperçu historique sur l'origine et le dévelopement des méthodes en Géometrie* (1837), *Traité de Géometrie Supérieure* (1852) e *Traité des sections coniques* (1865).

O suíço Jakob Steiner (1796-1863), professor da Universidade de Berlim, considerado o maior geômetra sintético dos tempos modernos, detestava os métodos analíticos e fazia objeção a todo tipo de instrumentos em Geometria, demonstrando apenas com métodos sintéticos. Em 1824, descobriu a *Geometria inversiva*. Provou que todas as construções euclidianas podiam ser feitas usando apenas a régua, desde que fosse dado um único círculo fixo. Escreveu, em 1832, *Desenvolvimento sistemático da dependência de formas geométricas*, que, baseado em considerações métricas, examinava o princípio da dualidade, fileiras e feixes homotéticos, divisão harmônica. Contribuiu para o estudo dos n-ângulos espaciais, para a teoria das curvas e superfícies, e provou, igualmente com métodos sintéticos, que a superfície de terceira ordem contém somente 27 linhas, teorema que aparentemente dependeria da Análise para prova. Descobriu a superfície Steiner, que tem uma "infinidade dupla de seções cônicas".

O alemão Christian von Staudt (1798-1867), professor da Universidade de Erlangen, procurou estabelecer o conjunto da Geometria projetiva independente de qualquer noção métrica (distância, ângulo, número, grandeza, etc), com a ajuda apenas de axiomas sobre a posição ou ordem dos elementos fundamentais. Escreveu, em 1842, a *Geometrie der Lage* (Geometria de posição).

Na polêmica entre o melhor método, sintético ou analítico, para encontrar a fundamentação da Geometria projetiva, estavam em desvantagem os defensores da utilização da Geometria analítica, dadas a natureza mais complexa da notação e cálculos algébricos, e a fundamentação sintética apresentada por Poncelet, Steiner e von Staudt. Para a adoção generalizada do método analítico, era, assim, imprescindível que fossem desenvolvidos e aperfeiçoados novos procedimentos, tanto para simplificação da notação algébrica, quanto para a utilização das coordenadas, que os defensores do método sintético, ou puramente geométrico, pretendiam abolir da

[50] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

Geometria projetiva[51]. Nesse processo, foram fundamentais as contribuições dos geômetras alemães Plücker e Möbius, bem como de Feuerbach e de Bobillier, cujas coordenadas homogêneas se tornariam instrumentos para o tratamento algébrico da Geometria projetiva.

Julius Plücker (1801-1868), professor em Bonn, Berlim e Halle, desenvolveu, entre 1828 e 1831, a simplificação do método analítico nos dois volumes de seu livro *Desenvolvimento da Geometria Analítica*. No primeiro volume dessa obra, apresentou o primeiro tratamento extenso do método de notação abreviada, embora já tivesse sido empregado antes por Gabriel Lamé (1795-1870) em *Exame de diferentes métodos para resolver problemas de Geometria* (1818) e Etienne Bobillier; e, no segundo volume, introduziu a coordenada homogênea, conhecida como coordenada projetiva, baseada num tetraedro fundamental. Vale notar que o trabalho de Plücker acompanhava a tradição de Monge e procurava construir uma Geometria projetiva utilizando conjuntamente construções geométricas e fórmulas analíticas. No *Sistema de Geometria Analítica* (1835), apresentou uma classificação completa das curvas cúbicas baseada na natureza de seus pontos no infinito, e na *Teoria das Curvas Algébricas* (1839) apresentou uma enumeração das curvas de quarta ordem e suas quatro equações, relacionando as singularidades de uma curva algébrica. Em 1846, escreveu o *Sistema de Geometria do Espaço*, o que o torna um pioneiro na Geometria n-dimensional. Plücker se dedicaria à Física, retornando à pesquisa matemática, a pedido de amigos, nos anos 60.

August Ferdinand Möbius (1790-1868) interessou-se por Astronomia, escreveu vários livros sobre o assunto e estudou com Gauss no Observatório de Göttingen. No campo da Matemática, em sua obra *Der barycentrische Calcul* (Cálculo do Centro de Gravidade), de 1827, apresentou suas coordenadas baricêntricas, adotou as novas notações de Bobillier, realçou o significado dos elementos ideais de Poncelet, classificou transformações geométricas (congruências, semelhanças, afins e colineações) e sugeriu o estudo de invariantes; deu às coordenadas um sentido puramente aritmético e não mais geométrico[52]. Möbius é mais conhecido pela "superfície de um só lado" (banda de Möbius), figura construída que, ao se unirem as extremidades de uma tira flexível, após ter sido torcida numa meia volta, apresenta apenas uma extremidade e um lado, o que o tornou pioneiro da Topologia, ramo da Geometria que trata das propriedades das figuras que não se alteram com deformações sem solução de continuidade.

---

[51] DAHAN-DALMEDICO, Amy; PEIFFER, Jeanne. *Une Histoire des Mathématiques.*

[52] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

Etienne Bobillier (1798-1840), graduado pela Escola Politécnica, em artigos nos *Annales*, de Gergonne (1827/28), introduziria novas notações bastante próximas das coordenadas triangulares ou tetraédricas e das coordenadas homogêneas. O outro inventor de um sistema de coordenadas homogêneas foi Karl Wilhelm Feuerbach (1800-1834), professor numa escola de nível médio em Erlangen, que descobriu, em 1822, o círculo de nove pontos de um triângulo e escreveu *Princípios da pesquisa analítica das pirâmides triangulares* (1827). Vale consignar que os sistemas de coordenadas homogêneas de Plücker, Möbius, Bobillier e Feuerbach têm em comum usarem três coordenadas, em vez de duas, para determinar um ponto no plano.

O algebrista, advogado e professor catedrático de Matemática pura em Cambridge, Arthur Cayley (1821-1895) deu importantes contribuições em diversas áreas, como em Geometria analítica de n-dimensões, em Teoria linear de transformações, quando seria o primeiro a estudar cálculo de matrizes, na Teoria dos grupos, em Teoria dos invariantes. Seus cerca de mil artigos e breves trabalhos foram reunidos nos 13 volumes do *The Collected Mathematical Papers of Arthur Cayley* (1889-1897), mas seu único livro foi no ramo da Análise, com o *Tratado sobre funções elípticas* (1876). Cayley generalizou as fórmulas de Plücker sobre curvas algébricas do espaço e sobre superfícies algébricas.

A valiosa contribuição de Rudolf Alfred Clebsch (1833-1872), professor em Karlsruhe, Giessen e Göttingen, e fundador da revista *Matematische Annalen* (1868), pela aplicação da *Teoria dos invariantes* à projetiva, deve ser ressaltada. Suas aulas seriam publicadas, postumamente (1876 e 1891), em dois volumes, por seus discípulos, continuando, por muito tempo ainda, como texto-modelo sobre Geometria projetiva[53].

6.18.2.3 Geometria Diferencial

A Geometria diferencial se refere ao estudo das propriedades das curvas e das superfícies, e suas generalizações, por meio do cálculo, o que a torna, também, do âmbito da Análise. Os especialistas chamam de Geometria diferencial local aquela que estuda curvas e superfícies na vizinhança de qualquer de seus pontos, e de Geometria integral ou Geometria diferencial total aquela em que as propriedades de estrutura total de uma figura geométrica decorrem de certas propriedades locais que a figura geométrica apresenta em cada um de seus pontos[54].

[53] STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*
[54] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

Os primeiros estudos sobre o assunto apareceram no século XVIII, graças ao pioneirismo, entre outros, de Cramer, Euler, Clairaut, Jean Bernoulli e Lagrange, porém a Geometria diferencial se desenvolveria, de forma sistemática, no século XIX, quando três períodos podem ser estabelecidos.

O primeiro período (final do século XVIII e início do XIX) tem em Gaspard Monge seu maior representante, a ponto de alguns autores o considerarem como o pai da Geometria diferencial. Em *Feuilles d'analyse appliquée à la Géometrie* (1795/99), editada por seus alunos da Escola Politécnica, e em *Applications de l'Analyse à la Géometrie* (editada em 1807,1809 e 1850), Monge iniciaria o estudo sistemático das curvas e superfícies no espaço, ao mesmo tempo em que formaria o núcleo inicial, com seus alunos (Meusnier, Malus, Dupin e outros) da Escola francesa da Geometria diferencial, à qual se incorporariam, posteriormente, Cauchy, Saint Venant, Frenet, Serret, Bertrand e outros.

Menção especial merecem os trabalhos de Charles Dupin (1784-1873) que, em *Développement de Géometrie* (1813) e em *Applications de Géometrie et de Mécanique* (1822), nos quais elaborou o primeiro estudo dos sistemas simples ortogonais, tratou da teoria das superfícies e aplicou a Geometria diferencial na Óptica. Importantes contribuições foram, também, as de Augustin Louis de Cauchy, em seus diversos trabalhos sobre Análise, em particular o *Leçons sur les applications du calcul infinitésimal à la Géometrie* (1826/28).

Gauss inauguraria o segundo período dessa evolução, ao tratar a Geometria Diferencial de modo diferente da de Monge pela introdução do método de estudar as curvas e superfícies por meio de coordenadas curvilíneas, como utilizava em seus trabalhos de Geodésia. Para muitos autores, o marco inicial da Geometria diferencial seria a publicação da *Disquisitiones circa superficies curvas* (1827), na qual Gauss definiu a curvatura da superfície num ponto (curvatura gaussiana ou curvatura total) e formulou seu famoso *theorema egregium*, pelo qual a curvatura total K é uma propriedade absoluta da superfície.

Contribuiriam, ainda, nesse período, para o desenvolvimento desse ramo da Geometria, Plateau, Sophie Germain, Jacobi, Bonnet, Beltrami e Darboux.

O terceiro período da evolução da Geometria diferencial corresponderia aos trabalhos de Bernhard Riemann (1826-1866), cuja célebre tese, em Göttingen (1854, mas publicada postumamente, em 1868), intitulada *Sobre as hipóteses que servem de base à Geometria* – marco na história da Matemática –, lançaria os fundamentos da Geometria

diferencial moderna[55]. Riemann abordaria aí as propriedades das variedades topológicas num número arbitrário de dimensões, e, influenciado pela teoria das superfícies, de Gauss, e por seus próprios trabalhos de Física matemática, definiria o quadrado da distância de dois pontos infinitamente vizinhos dessa variedade por uma forma quadrática, e mostraria como medir curvatura dessa variedade. A morte prematura do grande matemático não lhe permitiria construir uma teoria das formas diferenciais quadráticas, mas já, de alguma forma, esboçada ou delineada num estudo (1861) de distribuição de eletricidade nos cilindros, tarefa a que se dedicariam Beltrami, Christoffel e Lipschitz.

A difusão das Geometrias não euclidianas, da Teoria dos grupos e das concepções de Riemann e Grassmann seria responsável pelo desenvolvimento da Geometria diferencial no final do século XIX, com os trabalhos de Beltrami e Bianchi sobre as superfícies de curvatura constante, os de Scwartz e Lie sobre superfícies mínimas, os de Bonnet e Darboux sobre sistemas de triplos ortogonais, e os de Beltrami, Bianchi, Lie e Guichard sobre deformação das superfícies. No particular, caberia registrar a importância, para o desenvolvimento da Geometria diferencial, dos trabalhos de Sophus Lie sobre a Teoria dos grupos; de Gabriel Darboux (1842-1917), sobre os sistemas triplos ortogonais (*Leçons sur la théorie générale des surfaces*, 1887/96, em 4 volumes); e de Luigi Bianchi (1856-1928) em sua *Lezioni di Geometria differenziale* (1893). O papel das considerações topológicas em Geometria diferencial constaria de uma série de *Memórias* reunidas com o título de *Sur les courbes définies par une équation differentielle* (1881/86), de autoria de Henri Poincaré, na qual estudou as propriedades das curvas integrais de equações diferenciais ordinárias e a natureza e comportamento de seus pontos singulares[56].

6.18.2.4 Problemas Milenares da Geometria Euclidiana

Desde a Antiguidade grega que os matemáticos se interessaram em resolver o desafio de obter a duplicação do cubo, a trissecção do triângulo e a quadratura do círculo, utilizando apenas a régua e o compasso. Ainda que intuitivamente soubessem os gregos que solução desse tipo era impossível, com os chamados "instrumentos euclidianos", não foram capazes, contudo, de demonstrá-lo. Todas as tentativas, ao longo de dois mil anos, foram infrutíferas, até o desenvolvimento, no século XIX, da

55 TATON, René. *La Science Contemporaine.*
56 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

Teoria das equações, que demonstra que as condições de construção são de natureza essencialmente algébrica.

A primeira demonstração foi devida ao matemático francês Pierre Laurent Wantzel (1814-1848), em artigos publicados no ano de 1837 no *Journal*, de Liouville, nos quais mostrou que todos os problemas desse tipo correspondem a uma equação cuja raiz se exprime por uma série finita de operações elementares (adição, subtração, multiplicação, divisão e extração de raiz quadrada). Nela, provou que a solução para os problemas clássicos da "duplicação do cubo", ou o de construir o lado de um cubo cujo volume é o dobro do de um cubo dado, e o da "trissecção do triângulo", ou o de dividir um ângulo arbitrário em três partes iguais, não poderia ser encontrada com a utilização dos instrumentos euclidianos, pois sua solução equivalia à resolução de uma Equação de terceiro grau[57].

Dois teoremas, formulados posteriormente, demonstram que, sendo o problema de natureza algébrica, sua solução não pode ser dada com a exclusiva utilização de instrumentos euclidianos: i) o número que expressa o comprimento de um segmento em relação a uma dada unidade é necessariamente algébrico; e ii) a partir de uma dada unidade de comprimento é impossível construir, com os instrumentos euclidianos, um segmento cuja medida é a raiz de uma equação cúbica de coeficientes racionais, mas sem raízes racionais[58].

O problema da quadratura do círculo, ou o problema de construir um quadrado com área igual à de um círculo dado, é eliminado pelo primeiro teorema, indicado no parágrafo anterior. Considerando-se como unidade de comprimento o raio de um círculo dado, o lado do quadrado equivalente procurado é a raiz quadrada de *pi* (π). Se o problema fosse resolúvel com régua e compasso, seria possível construir um segmento de comprimento "raiz quadrada de *pi*", a partir do segmento unitário. Como *pi* e raiz quadrada de *pi* são transcendentes, e não são algébricos, como demonstrado por Ferdinand Lindemann (1852-1939) em 1882, torna-se impossível tal construção.

Os problemas da duplicação do cubo e o da trissecção do triângulo são eliminados pelo segundo teorema, antes transcrito.

Além desses três clássicos problemas da Geometria, a utilização dos dois instrumentos euclidianos (régua e compasso) na construção geométrica sempre aguçou o interesse dos matemáticos.

No final do século XVIII, Lorenzo Mascheroni (1750-1800) descobriu, conforme sua *Geometria del Compasso* (1797), que todas as

[57] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[58] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

construções euclidianas, desde que os elementos dados e procurados sejam pontos, podem ser feitas apenas com o compasso, sendo a régua, assim, um instrumento supérfluo. Em 1890, o geômetra vienense August Adler (1863-1923) publicaria nova demonstração dos resultados de Mascheroni, fazendo uso da transformação de inversão. Curioso notar que, em 1928, foi descoberto, numa livraria em Copenhague, um exemplar de *Euclides danicus*, publicado em 1672, de Georg Mohr (1640-1679), com uma demonstração que antecedia de 125 anos a descoberta de Mascheroni.

Poncelet, inspirando-se em Mascheroni, estudaria a possibilidade de construções euclidianas apenas com régua. Nem todas as construções euclidianas podem ser efetuadas dessa forma; porém, contando-se com uma circunferência e seu centro traçados no plano de construção, a régua seria suficiente para essas construções. O teorema concebido por Poncelet, em 1822, seria desenvolvido, em 1833, pelo suíço Jacob Steiner (1796-1863). Como no caso do compasso, o citado Mohr teria, em 1673, no *Compendium Euclides curiosi*, provado que todas construções euclidianas são possíveis com régua e compasso enferrujado[59].

6.18.2.5 Geometria Não Euclidiana

Desde sua formulação e estruturação, por Euclides, nos *Elementos*, composta de 465 proposições, 93 problemas e 372 teoremas, e baseada em 5 axiomas (evidentes) e 5 postulados (aceitos como verdadeiros), a Geometria chamada de euclidiana era considerada um exemplo de sistema lógico e de fundamentação rigorosa, e um modelo do método dedutivo. Mais do que isto, até o século XIX, a Geometria euclidiana era considerada como a única possível; as definições de espaço, reta, ponto, curva, etc., eram aceitas sem discussão, bem como a de que a soma dos ângulos em qualquer triângulo é de 180°, qualquer que seja sua área.

O V postulado, também conhecido como o postulado das paralelas, por não ser óbvio, intuitivo e simples como os demais, suscitaria, contudo, dúvidas e incertezas, ao longo da História, vindo a ser objeto de estudos com o propósito de demonstrá-lo, e, com isto, manter a estrutura lógica, racional e rigorosamente fundamentada da Geometria. O próprio Euclides não se sentiria, aparentemente, muito confortável com o V postulado, tanto que não o utilizou para demonstrar as primeiras 28 proposições

[59] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

nos *Elementos*. A formulação do V postulado, pelo escocês John Playfair (1748-1819), é a comumente utilizada: por um ponto fora de uma reta dada, só se pode traçar uma, apenas uma paralela a essa reta.

As tentativas para provar o postulado como um teorema a partir dos nove axiomas e postulados desafiariam os geômetras por mais de dois mil anos. Ptolomeu, Posidônio e Proclus, na Antiguidade greco-romana; Nasir al-Din, Ibn al-Haytham, Omar al-Khayyam, Thabit Ibn Qurrah e Al-Tusi, entre os árabes; Bombelli e Clavius, no século XVI; e John Wallis, no século XVII, foram alguns dos frustrados matemáticos nesse intento[60]. No século XVIII, especial menção deve ser dada aos esforços do jesuíta Girolamo Saccheri (1667-1733), cuja obra *Euclides livre de toda imperfeição*, de 1733, é reputada como o primeiro estudo de tratamento científico do assunto. Saccheri estudaria um quadrilátero ABCD, no qual os ângulos A e B são retos e os lados AD e BC são iguais. Traçando as diagonais AC e BD, e usando alguns teoremas de congruência (entre as 28 proposições iniciais de Euclides), Saccheri mostraria que os ângulos D e C são iguais. Haveria, assim, três possibilidades: hipótese de ângulo agudo, hipótese de ângulo reto e hipótese de ângulo obtuso. Como as hipóteses de ângulo agudo e de ângulo obtuso levavam a uma contradição, Saccheri concluiu, pelo método *reductio ad in absurdum*, que a hipótese do ângulo reto implica o postulado das paralelas[61]. A obra de Saccheri não teve repercussão entre seus contemporâneos, tendo sido reavaliada, graças a Beltrami, em 1889.

Outro estudioso foi Johann Heinrich Lambert, cuja obra póstuma, *Teoria das Paralelas*, adotou o quadrilátero de três ângulos retos como figura fundamental, e considerou três hipóteses, conforme o quarto ângulo fosse agudo, reto ou obtuso. A exemplo de Saccheri, concluiria Lambert por descartar as hipóteses dos ângulos agudo e obtuso. O outro importante trabalho, no século XVIII, sobre o V postulado, se deve a Adrien-Marie Legendre, que considerou as hipóteses de a soma dos ângulos internos de um triângulo ser menor, igual ou maior que dois ângulos retos. Conseguiu eliminar a terceira hipótese, mas não a primeira, cujos esforços constam das sucessivas edições, a partir de 1803, de sua obra *Elementos de Geometria*. Deve ser mencionado, igualmente, que Lagrange, a exemplo dos demais, estudou o assunto no pressuposto de que os postulados formariam um conjunto, pelo que o postulado das paralelas poderia ser deduzido dos demais.

O correto entendimento do V postulado de Euclides ocorreria nos primeiros anos do século XIX, com a criação da *Geometria não euclidiana*,

[60] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[61] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

denominação dada por Gauss[62], da qual seus expoentes foram Gauss, Lobachevsky, Bolyai, Beltrami, Cayley, Riemann, Klein e Poincaré.

Gauss, desde 1792, se interessaria pelo assunto, e, em 1799, afirmaria ser possível construir uma Geometria nova, baseada na hipótese de uma infinidade de paralelas passando pelo mesmo ponto[63]. Por volta de 1824, já teria Gauss desenvolvido equações que relacionavam partes de um triângulo num espaço não euclidiano, conforme indica uma sua carta, de novembro desse ano, ao matemático Franz A. Taurinus (1794-1874), em que "a suposição de que a soma de três ângulos (de um triângulo) é menor que 180° leva a uma Geometria especial bem diferente da nossa (euclidiana), que é absolutamente consistente, e que eu desenvolvi de modo bastante satisfatório para mim mesmo..."[64]. Em 1829, em carta a seu amigo, o astrônomo Friedrich Wilhelm Bessel, voltaria Gauss a expressar sua convicção de que se poderia introduzir diferentes Geometrias sobre uma mesma superfície[65]. Quando conhecidos os trabalhos de Lobachevsky e de Bolyai, comentaria Gauss, a esses seus correspondentes, que já haveria desenvolvido uma Geometria naqueles moldes não euclidianos. Gauss não publicou nunca seus estudos sobre o tema, coerente com sua atitude de só tornar público aqueles trabalhos já concluídos.

A criação de uma Geometria não euclidiana, por seu caráter inovador e revolucionário, foi um marco na evolução da Ciência, em geral, e da Matemática, em particular, ou seja, a quebra da milenar tradição da impossibilidade de mais de uma Geometria foi um acontecimento da maior importância, com repercussões em vários domínios, não só científicos, mas também filosóficos. A transformação do postulado, formulado para descrever o espaço físico em mera hipótese, romperia toda uma estrutura geométrica, erguida há mais de dois mil anos, de modelo de fundamentação rigorosa, lógica, dedutiva e racional a ser aplicada em vários ramos da atividade humana.

A descoberta da primeira Geometria não euclidiana se deve ao russo Nicolai Ivanovitch Lobachevsky (1792-1856), professor de Matemática e reitor da Universidade de Kazan[66]. Um trabalho, de 1826, sobre a Geometria não euclidiana, se perdeu, assim que se considera como seu primeiro artigo o publicado em 1829/30, em russo, no Boletim da Universidade de Kazan; em 1840, escreveu um pequeno livro, vertido em alemão, intitulado *Investigações Geométricas sobre a Teoria das Paralelas*;

---

62 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*
63 TATON, René. *La Science Contemporaine.*
64 MLODINOW, Leonard. *A Janela de Euclides.*
65 DAHAN-DALMENICO, Amy; PEIFFER, Jeanne. *Une Histoire des Mathématiques.*
66 ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

e, em 1855, um novo estudo, em russo e em francês, seria publicado com o título de *Pangeometria*. A obra de Lobachevsky teve lenta e pouca penetração nos grandes centros científicos da Europa ocidental, tendo chegado ao conhecimento de Gauss, por exemplo, apenas a partir da sua versão alemã. O trabalho de Lobachevsky versa sobre a hipótese do ângulo agudo e demonstra, inicialmente, os teoremas euclidianos, mas substitui o postulado das paralelas por uma hipótese pela qual "por um ponto C fora de uma reta AB podem ser traçadas mais de uma reta no plano que não encontram AB". No novo postulado, Lobachevsky deduzia uma estrutura geométrica harmoniosa, sem contradições lógicas inerentes, uma Geometria válida, ainda que contrária ao senso comum. Lobachevsky a chamou de "Geometria imaginária"[67].

Na mesma época em que o matemático russo formulava uma Geometria revolucionária, outro matemático, húngaro, Janos Bolyai (1802-1860), estudioso do postulado das paralelas, chegaria, em 1829, à mesma conclusão. Em vez de tentar provar o V postulado, Bolyai admitiu a hipótese de que por um ponto fora de uma reta uma infinidade de retas pode ser traçada no plano, cada uma paralela à reta dada. A essa Geometria deu o nome de "Ciência Absoluta do Espaço", que foi publicada sob forma de apêndice (*Appendix scientiam spatii absolute veram exhibens*) do livro de seu pai, o matemático Fonkar Bolyai, *Testamen*..., em latim; apesar do *imprimatur*, de 1829 (ano do primeiro artigo de Lobachevsky), o livro foi realmente publicado em 1832.

No final do século XIX, nos anos 80, um modelo de espaço hiperbólico seria criado por Henri Poincaré (1854-1912), no contexto de seus trabalhos sobre Cosmologia, porém não teria muita reação nos meios matemáticos europeus.

Em sua célebre tese em Göttingen, de 1854 (Sobre as hipóteses que servem de fundamento à Geometria), Bernhard Riemann deduziu da hipótese do ângulo obtuso uma Geometria não euclidiana. Influenciado pela teoria da curvatura das superfícies, de Gauss, em *Pesquisas gerais sobre as superfícies curvas* (1827), e tendo presente os princípios da Geometria diferencial de que tratara na mesma tese de 1854, redefiniria Riemann alguns conceitos (reta, ponto, plano) em que o plano era interpretado como a superfície da esfera, os pontos como posição, a esfera como um espaço elíptico bidimensional; ademais, ao contrário do postulado 1 de Euclides, eliminaria Riemann os conceitos de "estar entre, atrás e em frente", e do postulado 2 admitiria a reta como "ilimitada", ao invés de infinita. Na Geometria criada por Riemann, chamada por muitos como "riemanniana" ou "n-dimensional", a soma dos

[67] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

ângulos maiores que dois retos é realizada sobre a superfície de uma esfera, e nenhuma paralela pode ser traçada de um ponto fora de uma reta[68].

Em 1867, os artigos de Lobachevsky e Bolyai constariam do influente livro *Elementos da Matemática*, de Richard Baltzer[69], o que contribuiria para sua maior divulgação nos grandes centros matemáticos da Europa. Nessa mesma data, foi publicada a tese, de 1854, de Riemann.

Felix Klein (1849-1925) publicou, em 1871, dois trabalhos sobre Geometria não euclidiana, nos quais mostrou que era possível considerar as Geometrias euclidiana e não euclidiana como casos especiais de uma superfície projetiva, com uma seção cônica adjunta, e, em 1872, elaborou o famoso Programa de Erlangen, no qual apresentou um enfoque unificado da Geometria, incluindo as duas Geometrias. Klein denominaria a Geometria euclidiana (hipótese de ângulo reto) de "Geometria parabólica", dado que suas retas cortam o cone fundamentalmente num só ponto, como a parábola no plano; a de Lobachevsky-Bolyai-Gauss (hipótese de ângulo agudo) é chamada de "Geometria hiperbólica" por cortar, como a hipérbole, a reta ao infinito em dois pontos; e a de Riemann (hipótese de ângulo obtuso) de "Geometria elíptica", por não ter suas retas, como a elipse, ponto de intersecção[70].

Eugenio Beltrami (1835-1900), professor em Bolonha, Pisa, Pavia e Roma, mostrou que a superfície gerada pela revolução de uma tratriz em torno de uma assíntota é uma pseudoesfera por ter curvatura negativa constante (a esfera tem curvatura positiva constante). Se a reta entre dois pontos da pseudoesfera for definida como a geodésica por esses pontos, a geometria resultante terá as propriedades dos postulados de Lobachevsky, e com a curvatura total constante não nula será não euclidiana (conforme o teorema de Gauss). Como o plano é uma superfície com curvatura constante nula, concluiu Beltrami que a Geometria euclidiana pode ser considerada como um intermediário entre as Geometrias de Lobachevsky e a de Riemann[71].

A aceitação generalizada das teorias de Geometria não euclidiana só ocorreria a partir dos anos 70, quando começaria a surgir uma nova geração de matemáticos.

6.18.2.6 Geometria N-Dimensional

Por se tratar de uma Geometria não euclidiana, muitos autores a incluem no capítulo sob esse título. O primeiro artigo publicado com

[68] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
[69] MLODINOW, Leonard. *A janela de Euclides.*
[70] DAHAN-DALMENICO, Amy; PEIFFER, Jeanne. *Une Histoire des Mathématiques.*
[71] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

Geometria n-dimensional, ou de espaço hiperdimensional superior a n>3, foi o de Arthur Cayley, em 1843, vindo a ser estudado, posteriormente, pelos matemáticos ingleses Joseph Sylvester e W. Clifford (1845-1879). No continente europeu, o pioneirismo em Geometria de dimensão superior coube ao alemão Hermann Grassmann (1809-1877), que, em 1844, escreveu *A teoria da extensão linear, um novo ramo da Matemática*, na qual construiu uma geometria em espaço de n-dimensões, primeiro afim e depois métrico[72]. Seu trabalho não chamou, de imediato, a atenção da comunidade matemática.

Como na Geometria diferencial e na Geometria não euclidiana, a célebre tese de Bernhard Riemann, em Göttingen, no ano de 1854, seria decisiva na criação da chamada "Geometria analítica de n-dimensões". Riemann propôs uma visão global da Geometria como um estudo de variedades de qualquer número de dimensões, em qualquer tipo de espaço. Essa Geometria, não euclidiana, seria mais geral que a de Lobachevsky, em que a questão se limitava a quantas paralelas seriam possíveis por um ponto.

Após vários anos dedicados à Física, Plücker, que havia escrito em 1846 o *Sistema de Geometria do Espaço*, retornou à pesquisa matemática, publicando *Nova Geometria do Espaço* (1868/69), quando sustentou o princípio fundamental de que a Geometria não necessitaria se assentar no conceito do "ponto" como elemento básico: qualquer outro ente geométrico (retas, planos, círculos e esferas) poderia ser usado como elemento básico da Geometria[73], ou seja, o espaço não precisava ser pensado como uma totalidade de pontos, mas poderia ser vislumbrado como composto de retas. A dimensionalidade do espaço (quatro dimensões) corresponderia ao número de parâmetros que determinam o elemento de um espaço. Felix Klein, um de seus estudantes, publicaria a *Nova Geometria do Espaço* no ano da morte de Plücker.

Uma importante consequência do novo conceito de espaço e de dimensão da Geometria "riemanniana" viria a ser a utilização do espaço quadridimensional na Teoria da Relatividade de Einstein.

6.18.2.7 Topologia

A Topologia se estruturaria como ramo independente da Geometria no século XX, podendo ser considerada, como a Álgebra, a Geometria e a Análise, mais uma parte importante da Matemática. Pode ser dividida em

---

72 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*
73 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

dois ramos bastante diferentes: a Topologia combinatória (ou algébrica) e a Topologia conjuntiva (dos conjuntos dos pontos). A Topologia combinatória estuda as propriedades das figuras geométricas que não se perdem quando tais figuras são transformadas de maneira contínua; o movimento inverso, que traz a figura de volta ao estado original, é igualmente contínuo. Outra definição seria "o estudo dos aspectos qualitativos intrínsecos das configurações espaciais que permanecem 'invariantes' por transformações biunívocas contínuas com inversa contínua"[74]. Dada sua origem geométrica, a Topologia pode ser, também, expressa como "o estudo das propriedades das figuras geométricas que permanecem "invariantes" sob as transformações chamadas transformações topológicas, isto é, sob aplicações contínuas que têm inversas também contínuas"[75]; essas propriedades "invariantes" são chamadas "propriedades topológicas". A Topologia do século XIX, chamada inicialmente de *Analysis situ*, foi a combinatória.

Os trabalhos pioneiros começaram no século XIX, com os esforços de fundamentação dos Cálculos integral e diferencial, e são devidos, principalmente, a Gauss, Listing, Möbius, Riemann e Poincaré. A primeira contribuição é atribuída a Gauss, em 1799, quando se utilizou de técnicas topológicas para a demonstração do Teorema Fundamental da Álgebra, e quando estudou a Teoria dos nós, hoje um importante ramo da Topologia. Em 1847, o matemático J. B. Listing (1808-1882), discípulo de Gauss, publicou o *Vostsudien zur Topologie*, primeira obra dedicada ao assunto, na qual cunhou o termo Topologia. Bernhard Riemann, em sua famosa tese de doutorado, em 1854, introduziu conceitos topológicos no estudo da teoria das funções de variável complexa e introduziu a noção de "variedade". Möbius, em artigo de 1865, sustentou que as superfícies poliédricas eram simplesmente como uma coleção de polígonos ligados entre si. Introduziu o conceito de "2-complexos" em Topologia, daí derivando sua superfície de uma só face e uma só aresta, conhecida como "banda de Möbius". Pouco depois, em 1873, o físico e matemático inglês James Clerk Maxwell (1831-1879) usou a teoria topológica da conectividade no estudo dos campos eletromagnéticos; os físicos Helmholtz e Lorde Kelvin aplicariam, igualmente, ideias topológicas em seus trabalhos. Henri Poincaré publicou, em 1895, importante artigo dedicado ao tema (Analysis situ), quando introduziu a teoria da "homologia em dimensão n", e seria, também, quem introduziria os grupos de Enrico Betti (1823-1892) em Topologia.

Desdobramentos posteriores fazem parte da evolução do assunto no século XX, quando a Topologia conjuntiva se estruturaria (1914), com a obra de Felix Hausdorff.

---

[74] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

[75] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

6.18.3 Análise

Palavra de origem grega, significa "análise" o conjunto de processos lógicos para demonstrar uma proposição, ou seja, uma cadeia de relações lógicas que liga uma proposição a outras, já demonstradas como verdadeiras ou aceita como axiomas. Nesse sentido, a "Análise matemática" é o conjunto de processos e teorias, como as séries e integrais de Fourier, o cálculo das variações, as equações diferenciais e integrais, os aspectos algébricos da teoria do potencial, das probabilidades e da estatística, e as teorias dos números, dos conjuntos e das funções.

Trata-se, assim, de um vasto campo, de criação recente, cujas características principais foram desenvolvidas nos trabalhos, entre outros, de Gauss, Fourier, Cauchy, Abel, Jacobi, Bolzano, Dirichlet, Riemann, Weierstrass, Dedekind, Cantor, Poincaré e Hilbert [76].

Após a invenção do Cálculo infinitesimal (diferencial e integral), no final do século XVII (Newton/Leibniz), verificou-se sua ampla aplicação, ainda que sem um entendimento real de seus fundamentos. Os matemáticos manipulavam, no século XVIII, os processos analíticos guiados pela intuição, o que viria a suscitar algumas críticas[77]. Jean Le Rond D'Alembert já advogava, em 1754, uma teoria dos limites. Estudos pioneiros importantes na fundamentação rigorosa da Análise foram devidos, no século XVIII, a Leonhard Euler, na *Introductio in Analysin Infinitorum*, de 1748, no qual estudou as propriedades das funções elementares, examinando a possibilidade de cálculo algébrico; e de Joseph-Louis Lagrange, em *Théorie des fonctions analytiques*, de 1793, e na *Leçons sur le calcul des fonctions*, de 1804, considerados, inclusive, como os primeiros textos específicos sobre funções analíticas[78]. O interesse de Lagrange pela Análise e Matemática já constava de sua grande obra *Mecânica Analítica*, de 1788, com sucessivas edições, inclusive póstumas, com incorporações de novos estudos, com vistas a estabelecer adequado rigor analítico no tema.

A reforma da Matemática no século XIX se caracterizaria pela necessidade de deduções rigorosas e lógicas, a fim de evitar induções, intuição e analogias, até então muito comum em seus diversos ramos. O método dedutivo deveria impor-se na Análise, como já preconizado na Álgebra e na Geometria. A tendência para se procurarem formas puramente abstratas, sem apoio nas figuras geométricas ou em objetos

[76] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[77] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
[78] STRUIK, Dirk. *História Concisa da Matemática.*

concretos, passaria a predominar nos estudos de Análise, assumindo os matemáticos uma atitude crítica da estrutura dos princípios fundamentais e dos conceitos primitivos da teoria matemática. Nesse contexto, vários conceitos e noções, como de função, de continuidade, de limite, de integral, de diferencial e de convergência, por exemplo, já tratados de forma menos rigorosa por Euler e Lagrange, seriam repensados, por sua especial importância, para a Análise, a fim de evitar qualquer interpretação de natureza geométrica ou mecânica. Nessa área, especial referência deve ser estendida às definições adequadas formuladas por Cauchy, em 1822.

Nesse processo evolutivo da Análise, contribuições específicas importantes de alguns analistas devem ser assinaladas de forma a atribuir o verdadeiro alcance desses estudos ao desenvolvimento do tema.

Como nos outros ramos da Matemática, a contribuição de Karl Friedrich Gauss (1777-1855) foi importante para a Análise, pois inclui, tanto seus trabalhos na Teoria dos números com *Disquisitiones Arithmeticae*, de 1801, e sua "teoria aritmética dos números complexos" (1821); quanto sua *Memória*, de 1813, sobre "série hipergeométrica". A célebre obra de Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) intitulada *Teoria Analítica do Calor*, de 1822, estabeleceu a Lei da Propagação dada por uma equação de derivadas parciais; demonstrou Fourier que a condução do calor no sólido poderia ser analisada em termos de "séries infinitas" matemáticas, hoje chamadas de "série de Fourier"[79].

Augustin Louis de Cauchy (1789-1857) é considerado, por muitos autores, como o mais importante analista da primeira metade do século XIX, devido a seu extraordinário esforço por submeter a Análise a uma rigorosa fundamentação algébrica. Pesquisou em várias áreas, como a da Física matemática (Hidrodinâmica – *Memória sobre a Teoria das Ondas*, 1816), mas sua contribuição à Análise foi, sem dúvida, seu mais brilhante trabalho matemático. Sua *Teoria das funções de variável complexa* (1811) e suas iniciativas pelo rigor estão, como demonstrado em seu curso de Análise em 1821 na Escola Politécnica, quando lançou as bases da Teoria matemática da eletricidade, na consequente publicação, em 1822, da *Analyse Algébrique*, na qual repensou a noção de limite e de infinitude e redefiniu convergência de uma série, continuidade de uma função e integral de uma função[80]; na *Leçons sur les applications du calcul infinitésimal à la Géometrie* (1826/28); no *Exercices de Mathématiques* (1828), com trabalhos sobre as equações de Navier, de atração e repulsão molecular; e no *Le calcul infinitesimal* (1832). Cauchy escreveu vários teoremas sobre séries infinitas.

---

[79] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

[80] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

A sequência convergente, hoje chamada de sequência de Cauchy, serviria de base para os futuros trabalhos sobre números reais, com o objetivo de aplicar maior rigor na Análise matemática. A ideia de resultante já era utilizada por Leibniz (1693), Gabriel Cramer (1750), Lagrange (1773) e Gauss, mas sua definitiva incorporação à Matemática com seu nome atual de determinante foi devido/a a Cauchy (1812)[81].

O norueguês Niels Henrik Abel (1802-1829) ocupa um lugar especial na História da Matemática por suas contribuições para a Teoria dos grupos e pelo famoso artigo, de 1824, *Sobre a resolução algébrica de equações*, na qual provou não poder haver fórmula geral expressa em operações algébricas explícitas sobre os coeficientes de uma equação polinomial para as raízes da equação, se o grau da equação for maior que quatro. Abel publicaria, em 1826, a *Teoria de integrais das funções algébricas*, com seu teorema de que o número de integrais independentes de funções algébricas é finito (descoberta de múltiplas funções periódicas), que serviria de base para a teoria das funções elípticas, que seria estudada e desenvolvida por Carl Gustav Jacobi (1804-1851), autor de *Fundamenta Nova Theoriae Functionum Ellipticarum*, de 1829. Nessa obra, Jacobi descobriria múltiplas funções periódicas de muitas variáveis. Registre-se que Gauss já teria descoberto, por volta de 1800, mas não publicara, a dupla periodicidade das funções elípticas (ou lemniscáticas), revelada por Abel, em 1826.

Ainda em 1829, Peter Gustav Lejeune Dirichlet (1805-1859), ex-aluno de Gauss, prosseguiria os trabalhos, na linha de seu mestre, sobre a teoria dos números primos, e numa *Memória* introduziria o conceito de séries trigonométricas absolutamente convergentes e estabeleceria as condições para que uma função pudesse ser desenvolvida em séries de Fourier. Seu trabalho teria profunda influência sobre a noção de função, mas também de integral, de convergência uniforme e de conjunto de pontos, já que realçava as noções de continuidade e de derivação[82].

Na mesma época em que Cauchy elaborava novas definições e repensava certos conceitos, o padre checo Bernhard Bolzano (1781-1848) desenvolvia ideias parecidas, inclusive sobre a necessidade de fundamentação rigorosa. Essa semelhança entre suas "aritmetizações" do cálculo e de suas definições de limite, derivada, continuidade e convergência leva alguns autores a admitir uma possível influência de Bolzano sobre o matemático francês, após a visita ocorrida em Praga. Sua tentativa de desenvolver uma teoria dos números reais como limites de sequências de números racionais não teria êxito. Em 1817, Bolzano havia

---

[81] STRUIK, Dirk. *História Concisa da Matemática.*

[82] DAHAN-DALMENICO, Amy; PEIFFER, Jeanne. *Une Histoire des Mathématiques.*

publicado um livro intitulado *Pura Prova Analítica*, no qual apresentou prova puramente aritmética do teorema de locação em Álgebra, o que exigia um tratamento não geométrico da continuidade de uma curva ou função. Em obra póstuma, de 1850 – *Paradoxos do Infinito* –, Bolzano apresentou propriedades importantes dos conjuntos infinitos. Seu trabalho, contudo, não teve a merecida repercussão nos meios intelectuais europeus da época, em parte por suas ideias pouco ortodoxas não terem sido bem recebidas pela Igreja.

O processo que se seguiu convencionou-se chamar de aritmetização da Análise, em vista da importância que assumiria a Teoria dos números, em particular no que se refere aos números reais, tanto para as teorias fundamentais em Análise, como as de limite, continuidade e diferenciabilidade[83], quanto para os fundamentos da Matemática. A fundamentação rigorosa da Análise requeria uma definição de limite, para a qual a aritmética dos números reais seria o instrumento utilizado. Nesse sentido, a Análise, ao recorrer à Aritmética, contribuiria para seu desenvolvimento.

As pesquisas no século XIX sobre números reais tiveram por base a chamada sequência de Cauchy. Dada uma sequência de números reais a_1, a_2, a_3..., o número real "a" é o limite da sequência, se o valor absoluto da diferença entre os termos da sequência e o número "a" ficar tão pequeno quanto se queira, desde que se tomem os termos a partir de um índice suficientemente grande. Essa é a sequência convergente ou sequência de Cauchy de números reais que tem sempre um limite. Mas isto não vale para os números racionais: existem sequências de Cauchy de números racionais que convergem a números irracionais (como π). A sequência é de Cauchy, mas ela não tem um limite no conjunto dos números irracionais: o limite pertence ao conjunto dos números irracionais. Todo número irracional pode ser expresso como limite de uma sequência de números racionais, o que fornece a base para a definição de número real, que é um conjunto de sequências de Cauchy equivalentes, e não um número com as mesmas características de um número racional.

Riemann, Weierstrass, Cantor, Dedekind, Poincaré e Hilbert seriam figuras centrais nesse processo, que culminaria, atualmente, em a Análise poder ser deduzida logicamente de um conjunto de postulados que caracterizem o sistema de números reais.

Em 1854, Riemann, em sua célebre tese, em Göttingen, desenvolveu, sob o título de *Sobre a representação das funções em séries trigonométricas* (publicado em 1867), sua descoberta de uma função contínua que não tinha

83 EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

derivada em vários pontos, contrariando, assim, a admissão generalizada de que se a função fosse contínua num ponto, teria ela uma derivada nesse ponto; em outras palavras, Riemann havia inventado uma função que era contínua em todos os valores irracionais da variável, mas descontínua para os valores racionais. A função de Riemann tornou claro que a integral exigia uma definição mais cuidadosa que a de Cauchy, mostrando que uma função pode ser integrável num intervalo sem ser representável por uma série de Fourier.

Karl Weierstrass (1815-1897) tornara-se famoso em 1854 com a publicação de seu estudo sobre as funções abelianas. Com o propósito de concluir a obra do matemático norueguês e de Jacobi, dedicou-se Weierstrass à teoria das funções. Descobriria, em 1861, uma função contínua que não tinha derivada em nenhum ponto de um determinado intervalo, ou seja, uma curva contínua que não admitia tangente em nenhum de seus pontos. Esclareceria Weierstrass as noções de mínimo de uma função e de uma derivada, eliminando, assim, o que estava vago nos conceitos fundamentais do cálculo. Deve-se, principalmente, a ele, colocar o sistema de números reais na base da Análise, isto é, reduzir os princípios da Análise ao conceito de número real, motivo pelo qual Weierstrass é reconhecido como o pai da Análise moderna.

Julius Dedekind e Georg Cantor descobririam, igualmente, muitas funções com aparentes anormalidades, comprovando que a noção de continuidade era vaga e imprecisa, em termos puramente geométricos, mas que adquiria precisão em termos algébricos, podendo interpretar uma série de fatos e propriedades aparentemente paradoxais. Suas importantes contribuições à Análise, e à Matemática em geral, devem ser realçadas.

Julius Dedekind (1831-1916), em suas aulas sobre Cálculo, sustentava, desde 1858, que o conceito de limite deveria ser desenvolvido por meio da Aritmética, sem usar a Geometria como guia. Leibniz julgara que a continuidade de pontos sobre uma reta era consequência de que entre dois pontos quaisquer existe sempre um terceiro; no caso dos números racionais, não ocorre, contudo, essa continuidade. Em seu famoso livro, de 1872, intitulado *Continuidade e Números Irracionais*, Dedekind chegaria à conclusão de que a essência da continuidade de um segmento de reta não se devia a uma vaga propriedade de ligação mútua, mas a de uma propriedade exatamente oposta, – a natureza da divisão do segmento em duas partes por um ponto sobre o segmento[84]. Expresso em termos aritméticos, isto significava que para toda a divisão dos números racionais em duas classes A e B existe um, e um só número real que

[84] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

produz o corte, agora chamado de "corte de Dedekind". A partir daí, constataria Dedekind que os teoremas fundamentais sobre limite podem ser provados rigorosamente sem recurso à Geometria, apesar de ter sido ela que indicara, inicialmente, o caminho para uma definição conveniente de continuidade. O corte de Dedekind no sistema de números racionais, ou uma construção equivalente dos números reais, passaria agora a substituir a grandeza geométrica como espinha dorsal da Análise.

Deve-se, também, a Dedekind a primeira definição precisa de um conjunto infinito, tema abordado em Teologia e Matemática, desde a Antiguidade. No livro de 1872, e posteriormente no de 1888, intitulado *O que os números são e devem ser*, Dedekind definiria um sistema infinito como quando ele é semelhante a uma parte própria dele mesmo, caso contrário, o sistema é finito. Sobre o particular, manteve estreito contato com Georg Cantor, autor da teoria dos conjuntos e da teoria do infinito.

Os trabalhos de Weierstrass, como também os de Cantor, considerados inicialmente como pouco ortodoxos pela utilização de números outros que os inteiros, levantariam ceticismo e oposição em certos meios matemáticos, sendo famoso o antagonismo, e até mesmo a perseguição acadêmica, de Leopold Krönecker (1825-1891) a Cantor. Com importantes contribuições para a Matemática, em especial em Teoria das equações, funções elípticas e Teoria dos números algébricos, Krönecker condenava o trabalho de Cantor como teológico, e não matemático, pois defendia que a Matemática devia basear-se em métodos finitos desenvolvidos a partir dos números inteiros; "era um pitagórico do século XIX"[85]. É dele a famosa frase: "Deus fez os números inteiros, todo o resto é criação do Homem".

6.18.3.1 Teoria dos Conjuntos

A Teoria foi formulada no contexto da Análise, mas, hoje em dia, é normalmente considerada como parte autônoma da Matemática, devido à sua aplicação em quase todos os seus ramos (inclusive na Topologia e na Teoria das Funções Reais).

Georg Cantor (1845-1918), nascido na Rússia, de pais dinamarqueses, foi morar em Frankfurt, aos 11 anos, dedicando-se, em seus estudos superiores (Zurique, Göottingen e Berlim), à Filosofia, Física e Matemática. Obteve o doutorado, no ano de 1867, em Berlim, onde estudou com Weierstrass; de 1869 a 1905, foi professor na Universidade de Halle, cidade onde faleceu, no hospital de doentes mentais.

[85] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

O interesse matemático inicial de Cantor foi pela teoria dos números, equações indeterminadas e séries trigonométricas, o que o levaria a se dedicar aos fundamentos da Análise. Estudou os números irracionais com uma abordagem de sequências convergentes de números racionais diferente da de Dedekind (com quem manteria, a partir de 1872, uma grande amizade e uma longa correspondência), e, em 1874, começou a trabalhar no que viria a ser sua Teoria dos conjuntos, objeto de um tratado em 6 partes, publicado de 1879 a 1884, complementado por adições, em 1895 e 1897; no processo, desenvolveria Cantor a teoria do infinito e a teoria dos números transfinitos. A Teoria dos conjuntos "enriqueceu, tornou mais claro e generalizou muitos domínios da Matemática, e seu papel no estudo dos fundamentos da Matemática é essencial. E constitui também um dos elos de ligação entre a Matemática, de um lado, e a Filosofia e a Lógica, de outro"[86]. Trata-se, na realidade, de um campo novo de pesquisa matemática.

Sua obra seria polêmica, controvertida e revolucionária. Em seus trabalhos, Cantor mostraria que os números irracionais são muito mais numerosos que os números racionais, que dois segmentos de reta desiguais conteriam o mesmo número de pontos, e que o volume de uma esfera equivaleria ao de seu diâmetro, e deduziria que o infinito teria dois significados: o que se aplicava a um conjunto no qual cada unidade podia ser numerada – como um conjunto de números racionais –, e o que se aplicava a um conjunto cujo número de elementos aumentaria além de qualquer medida.

Nos estudos sobre infinitude, ou infinidade de elementos de um conjunto, como os números naturais ou os pontos de um segmento de reta, concluiria Dedekind, em 1872, que "diz-se de um sistema S que é infinito quando é semelhante a uma parte própria dele mesmo; caso contrário, S se diz sistema finito". Conforme explica o já mencionado Boyer, Cantor havia reconhecido, também, a propriedade fundamental dos conjuntos infinitos, mas, ao contrário de Dedekind, considerou que os conjuntos infinitos não eram todos iguais. Cantor se propôs, então, a construir uma hierarquia de conjuntos infinitos conforme a potência do conjunto. O conjunto dos quadrados perfeitos ou o conjunto dos números triangulares tem a mesma potência que o conjunto de todos os inteiros positivos, pois eles podem ser postos em correspondência biunívoca. Esses conjuntos parecem muito menores que o conjunto de todas as frações racionais, mas Cantor mostraria que esse último conjunto é contável ou enumerável, isto é, também pode ser posto em correspondência biunívoca com os inteiros

86 EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

positivos, portanto, com a mesma potência. Cantor mostraria, também, que o conjunto de todos os números reais, por exemplo, tem potência maior que o conjunto das frações racionais. Ao demonstrar que a classe de números algébricos tem a mesma potência que a dos inteiros, Cantor arguiria serem os números transcendentes que dão ao sistema de números reais a densidade que resulta em maior potência[87].

O autor Howard Eves apresentaria a "teoria dos conjuntos" de Cantor de forma um pouco diferente da de Boyer. Assim, dois conjuntos são considerados como "equipotentes" se, e somente se, eles podem ser colocados em correspondência biunívoca, isto é, que associa a cada um dos elementos de um conjunto um único elemento de outro conjunto e vice-versa. Se dois conjuntos são equipotentes, eles têm o mesmo número cardinal; os números cardinais dos conjuntos finitos podem ser identificados com os números naturais, e os números cardinais dos conjuntos infinitos recebem o nome de números transfinitos. Quando se designa o cardinal do conjunto dos números cardinais pela letra "d", e se considera que todo o conjunto de cardinal "d" é enumerável (que pode ser numerado), conclui-se que um conjunto é enumerável se, e somente se, seus elementos podem ser escritos numa sequência infinita (S_1, S_2, S_3, S_4...). Cantor provaria que todo conjunto infinito contém um subconjunto enumerável; logo "d" é o menor número transfinito[88].

Antes de Cantor, os matemáticos aceitavam apenas um infinito, denotado com o símbolo ∞, que era usado para indicar o "número" de elementos de conjuntos, como os dos números naturais e o dos números reais. Cantor, em seus trabalhos, provaria que entre dois números racionais quaisquer existem outros números racionais, na verdade infinitos. Assim, por exemplo, entre 0 e 1, estão os números racionais 1/2, 2/3, 3/4, 4/5... n/(n+1); entre 0 e ½, estão os números racionais 1/3, 2/5, 3/7, 4/9, 5/11... n/ (2n+1); entre 0 e ¼, estão os números racionais 1/5, 2/9, 3/13, 4/17, 5/21... n/(4n+1), e assim por diante. A conclusão, porém, não é a de que haveria um número transfinito do conjunto de números racionais maior que "d", e sim a de que o conjunto dos números racionais é enumerável.

Cantor provaria, também, que o conjunto de números algébricos é enumerável. Utilizando a altura de um polinômio, que fornece apenas um número finito de números algébricos, Cantor construiria uma "lista" de todos os números algébricos, tomando primeiro aqueles que resultam de polinômios de altura 1, depois aqueles que resultam de polinômios de altura 2, e assim por diante, eliminando, em cada etapa, aqueles que

87 BOYER, Carl. *História da Matemática.*
88 EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

constituem repetições. Podendo ser colocados numa lista infinita, os números algébricos formam, assim, um conjunto enumerável. Cantor provaria, ainda, que o conjunto dos números reais do intervalo "0 e 1" não é enumerável, utilizando o "processo da diagonal de Cantor". Admitindo que o conjunto fosse enumerável, poderia ele ser posto numa sequência (P_1, P_2, $P_{3...}$), em que todo número racional pode ser escrito univocamente como uma fração decimal infinita. Assim, $P_{1\,=}\,O_{,}\,A_{11,}\,A_{12,}\,A_{13...,}\,P_{2\,=}\,O_{,}\,A_{21,}$ $A_{22,}\,A_{23...,}\,P_{2\,=}\,O_{,}\,A_{31,}\,A_{32,}\,A_{33...,}$ no qual cada símbolo A representa algum dos algarismos O, 1, 2, 3, 4... 9. Entre o número O e 1 faltaria, porém, o número O, B_1, B_2, B_3..., que é diferente de cada "P", o que torna o conjunto dos números reais entre O e 1 como não enumerável. Daí, conclui-se, igualmente, que o conjunto dos números complexos também não é enumerável. Como o conjunto dos números algébricos é enumerável, concluiria Cantor que existem números complexos que não são algébricos, e que são os chamados transcendentes.

O reconhecimento da importância da polêmica Teoria dos conjuntos estaria comprovado na famosa alocução de David Hilbert no Congresso Internacional de Matemática, em Paris, no ano de 1900, quando apresentou seu célebre *Programa de trabalho para as décadas seguintes*. Dentre os 23 assuntos que deveriam merecer a atenção especial dos matemáticos, colocou Hilbert, como número um, o "problema da cardinalidade do contínuo de Cantor. Haveria algum cardinal entre o contínuo e o numerável? E o contínuo pode ser considerado bem ordenado?"[89].

O trabalho de Cantor prosseguiria no início do século XX com as pesquisas, entre outras, de Hilbert, Poincaré, Peano, Bertrand Russel, Zermelo e Gödel.

6.19 Astronomia

O extraordinário legado recebido de séculos anteriores permitiria aos astrônomos, matemáticos e físicos do século XIX colocar a Astronomia num novo patamar de conhecimento muito acima do que poderia ter sido imaginado no século precedente. A invenção e o aperfeiçoamento dos instrumentos de observação; a introdução de novos métodos e técnicas de investigação; as descobertas na Física de imediata aplicação na Astronomia; os avanços nas pesquisas matemáticas, motivadas, em parte, pelo interesse da ciência astronômica; a fundação de novos observatórios; a criação de associações e sociedades e de publicações

[89] STRUIK, Dirk. *História Concisa da Matemática.*

especializadas; o patrocínio governamental; e o apoio da iniciativa privada são características marcantes da Astronomia no século XIX. A esses fatores específicos, deve-se acrescentar o avanço, no meio científico, de uma nova mentalidade crescentemente a favor de pesquisa independente de considerações de qualquer outra ordem, particularmente de cunho religioso, o que viria a contribuir, também, para o progresso nas investigações. O desenvolvimento da Astronomia esteve, assim, em relação direta com o avanço na Matemática e na Física[90]. O progresso alcançado foi de tal ordem e as inovações de tal monta que o século XIX figura como importante período no processo evolutivo da Astronomia.

A estreita vinculação da Astronomia com a Matemática e a Física aparece nitidamente ao se examinar uma lista exemplificativa de alguns dos principais pesquisadores e estudiosos com significativas contribuições para o progresso do conhecimento astronômico. Assim, entre outros, os matemáticos Gauss, Poisson, Jacobi, William Hamilton, Möbius e Poincaré e os físicos Fraunhofer, Biot, Arago, Faraday, Fizeau, Doppler, Kirchhoff, Maxwell, Bunsen, Foucault, Ångström, Melloni e Zollner ocupam um lugar central, ao lado dos astrônomos, na História da Astronomia desse período.

Tal qual a invenção da luneta e a criação da Mecânica Celeste no século XVII, marcos fundamentais no processo evolutivo da Astronomia, o desenvolvimento da Análise espectral, da qual nasceria a Astrofísica, viria a caracterizar a Astronomia do século XIX. A medição trigonométrica da paralaxe de uma estrela foi acontecimento histórico na técnica de medição astronômica e ponto de partida para o progresso das pesquisas do espaço cósmico. O emprego da fotografia nas pesquisas astronômicas seria, igualmente, responsável pelos avanços que permitiria na observação dos corpos celestes. Essas três contribuições (uma da Matemática e duas da Física), fundamentais para o desenvolvimento da Mecânica Celeste, da Astronomia estelar, da Astrometria e da Cosmologia, evidenciam a importância do vínculo entre as Ciências, as novas bases estabelecidas para as investigações e o grande avanço e ampliação do conhecimento astronômico.

A evolução da observação a olho nu (até final do século XVI com Tycho Brahe) para a telescópica (a partir do início do século XVII com Galileu) abriu imensas perspectivas de pesquisa, apesar de suas deficiências e imperfeições, que levavam a observações muitas vezes imprecisas e falhas. As lunetas e telescópios se beneficiariam, no século XIX, do aperfeiçoamento tecnológico, principalmente na Grã-Bretanha, França e Alemanha, nas indústrias de ferro e aço, e na fabricação de lentes,

---

90 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

reduzindo, de forma significativa, as imprecisões dos antigos instrumentos. Um novo instrumento, o "círculo meridiano", desempenharia importante papel na observação óptica, bem como outros aparelhos de medição acoplados aos telescópios seriam utilizados com o propósito de melhorar sua qualidade e sua precisão.

Nesse período, foram construídos diversos observatórios públicos em várias partes do Mundo, chegando, em 1880, a um total de 118, dos quais 84 na Europa, 27 nas Américas, 2 na África, 2 na Ásia e 3 na Oceania[91]. Alem dos famosos Observatórios, entre outros, de Greenwich, Kew, Paris, Palermo, Roma, Florença, Pulkovo, Varsóvia, Viena, Lick (Califórnia) e Cabo da Boa Esperança, deve ser salientada, igualmente, a importante participação das universidades europeias e americanas (como Berlim, Dorpat, Göttingen, Harvard, Chicago), por meio de seus observatórios, na pesquisa astronômica.

Até meados do século, França e Grã-Bretanha mantiveram indiscutível liderança no campo da pesquisa científica, inclusive da astronômica. Essa situação hegemônica se alteraria, contudo, ainda no século XIX, como resultado do extraordinário desenvolvimento industrial, tecnológico e científico ocorrido em diversos reinos alemães, o que transformaria a região num dos mais importantes centros de pesquisa, rivalizando, se não ultrapassando, os dois já mencionados países. Ainda na Europa, Itália e Rússia dariam relevantes contribuições investigativas, inclusive no campo teórico. Merece especial referência o surgimento dos Estados Unidos da América, a partir da segunda metade do século, como um importante centro de estudos e pesquisas astronômicas. Graças ao desenvolvimento industrial e tecnológico do país e à participação ativa e intensa das universidades e do Governo de Washington no desenvolvimento do conhecimento astronômico, foi possível a formação de um numeroso e competente grupo de astrônomos que dariam contribuições valiosas em diversos campos da Astronomia.

Grande expansão haveria na área da divulgação da pesquisa. Em 1823, seria lançada, na Alemanha, a primeira publicação especializada *Astronomische Nachrichten*, sob inspiração do astrônomo austríaco Franz Xaver von Zach. Na Inglaterra, a Sociedade Real editaria, a partir de 1827, o *Monthly Notices*, e nos EUA, o astrônomo Benjamin Apthorp Gould fundaria o *Astronomical Journal*, em 1849, e George Ellery Hale, o *Astrophysical Jornal*, em 1895. Ao longo do século, se multiplicariam as publicações especializadas em Astronomia, essenciais para a divulgação das investigações em curso e popularização da Ciência[92].

[91] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
[92] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

Sociedades e associações privadas seriam fundadas num grande número de países dos cinco continentes, com o propósito de contribuir, por meio de estudos, seminários, debates, cooperação com outras entidades, nacionais e estrangeiras, e a divulgação de fatos e acontecimentos, para o desenvolvimento da Astronomia. A primeira entidade do gênero foi a inglesa *Real Sociedade de Astronomia*, de 1820. Deve-se registrar, ainda, que um grande número de cidades europeias, como Bordeaux, Marselha, Lyon, Liverpool, Manchester, Edimburgo, Glasgow, Milão, Gênova, Barcelona, Hamburgo, Breslau, Munique, Antuérpia, Uppsala, Cracóvia e Kiev, entre outras, seriam sedes de sociedades astronômicas ou de observatórios, o que lhes aumentava o prestígio e a respeitabilidade no Mundo científico.

Coube ao astrônomo alemão Friedrich Argelander criar, em 1881, a *Astronomische Gessellschaft* (*Sociedade Astronômica*), iniciativa com o objetivo de estabelecer uma rede de cooperação internacional entre os observatórios. Ainda que o projeto de Argelander tenha sido de curta duração, intensificaram-se, no século XIX, os contatos no interior da comunidade científica internacional, tendo sido frequente a cooperação entre astrônomos e observatórios de diferentes países. O exemplo mais famoso desse tipo de colaboração foi o do francês Urbain Le Verrier e o alemão Johann Gottfried Galle na descoberta do planeta Netuno, em 1846[93].

O exame da evolução da Astronomia no século XIX deve proceder como as demais Ciências, de acordo com as grandes divisões ou partes da Ciência, precedido de um capítulo específico sobre as bases técnicas em que se desenvolveria a investigação astronômica.

Os aperfeiçoamentos nos principais instrumentos de observação óptica e as novas técnicas de pesquisa decorrentes dos avanços da Física aplicada criariam as condições necessárias para uma significativa expansão da pesquisa astronômica em bases tecnicamente mais rigorosas. O método científico de pesquisa na Astronomia continuaria a se fundamentar, assim, na observação sistemática, com recurso a outras Ciências, com as quais manteria uma estreita e benéfica vinculação.

Devido às suas crescentes e decisivas contribuições à Astronomia, esta passaria, já no século XIX, a ser estudada em duas grandes divisões, a Astronomia matemática e a Astronomia física, conforme os aportes de cada uma destas Ciências.

Assim, após o capítulo inicial sobre os Instrumentos Astronômicos e Novas Técnicas de Pesquisa, serão tratadas, em separado, a Astrometria e a Mecânica Celeste, partes da chamada Astronomia matemática, e a

[93] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*

Astrofísica e a Astronomia estelar, partes da chamada Astronomia física. Por fim, serão tratadas a Cosmogonia e a Cosmologia.

6.19.1 Instrumentos Astronômicos e Novas Técnicas de Pesquisa

As grandes empresas dos setores elétrico, químico, metalúrgico e de vidros, surgidas com a Revolução Industrial, criaram a base técnica para o extraordinário desenvolvimento da Astronomia no século XIX. Os avanços técnicos na fabricação industrial de novos materiais e no aperfeiçoamento de novos instrumentos, sem imperfeições que prejudicassem a qualidade da pesquisa, seriam aproveitados imediatamente pelos fabricantes de instrumentos astronômicos para a melhoria, como requerida pelos astrônomos, da qualidade de seus produtos. Ao mesmo tempo, novas técnicas e novos aparelhos seriam desenvolvidos, ampliando o campo e melhorando consideravelmente a qualidade da investigação. Esse grande progresso na base técnica e industrial seria uma das características marcantes da Astronomia no século XIX, pois criaria as condições para seu espetacular desenvolvimento.

6.19.1.1 Instrumentos Astronômicos

O desenvolvimento da Astronomia, a partir do início do século XVII, esteve diretamente relacionado com o uso e o aperfeiçoamento da luneta (telescópio refrator) e do telescópio refletor. Três principais fatores estariam na base do extraordinário progresso tecnológico verificado nos instrumentos astronômicos: i) as exigências dos astrônomos por instrumentos aperfeiçoados para um maior alcance e melhor qualidade da observação óptica; ii) a crescente demanda por tais instrumentos pelos novos Observatórios e Centros de pesquisa, patrocinados pelos governos e universidades, e mesmo por particulares; e iii) os avanços tecnológicos, principalmente nas indústrias de metais e de vidro, permitiriam a fabricação de instrumentos aperfeiçoados de acordo com as especificações e exigências dos astrônomos.

A partir das pesquisas pioneiras de Wilhelm Herschel, além do Sistema Solar, o crescente interesse pelo sistema estelar no século XIX passou a exigir instrumentos de maior precisão e alcance de observação e de medição exata[94]. Dado que os instrumentos não correspondiam aos

[94] TATON, René. *La Science Moderne.*

requerimentos das investigações, a exigência dos astrônomos por um melhor produto seria um dos principais incentivos para o aperfeiçoamento tecnológico de lentes, objetivas, montagens e peças diversas dos grandes instrumentos astronômicos. A utilização desses novos produtos pelos Observatórios públicos e particulares seria imediata.

Um dos principais defensores de critérios rigorosos de qualidade para os instrumentos e para o trabalho dos astrônomos foi Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846), fundador do Observatório de Königsberg, e autor de *Fundamenta Astronomiae* (1818), no qual sistematizou as observações (esparsas) de James Bradley (1693-1762), e de *Tabulae Regiomontanae* (1830)[95].

No século XVIII, os empresários ingleses Ramsden e Cary eram reputados como os melhores fabricantes de instrumentos astronômicos, tradição de boa qualidade, que continuaria no século XIX, com os fabricantes Troughton e Simms. Os industriais alemães Repsold (1802), em Hamburgo, e Reichenbach (1804), em Munique, inicialmente dedicados a pequenos instrumentos (sextantes para navegação e altazimute para geodésia), se tornariam, já em meados do século, em importantes fabricantes de telescópios e outros instrumentos astronômicos, rivalizando, em qualidade, com os de fabricação inglesa. No campo das lentes, a indústria Zeiss seria um fabricante de grande sucesso com produtos da melhor qualidade.

Os alemães inovariam, ainda, com o "círculo meridiano" ou "círculo de trânsito", instrumento para a determinação das posições das estrelas e apropriado para medir, ao mesmo tempo, subidas e descidas verticais. Acoplado a um telescópio, seria muito usado pelos astrônomos. Os micrômetros, instrumentos para medir comprimentos ou ângulos muito pequenos, baseados em dispositivos mecânicos ou em sistemas ópticos, seriam aperfeiçoados ao longo do período, devendo-se registrar a inovação do micrômetro impessoal ou de Repsold para a observação de passagens meridianas. O heliômetro, aparelho construído por Pierre Bouguer (1698-1758), destinado, inicialmente, a medir o diâmetro do Sol, seria desenvolvido: as duas metades de uma objetiva cortada diametralmente são justapostas e comandadas por um ou dois parafusos micrométricos, servindo para determinar a posição relativa entre dois astros.

O astrônomo Warren de la Rue inventou, em 1858, o fotoheliógrafo para fotografar o Sol, Samuel Langley aperfeiçoou, em 1881, o bolômetro para medir, com maior precisão, o espectro solar, e George Hale, em 1889, o espectroheliógrafo.

[95] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*

Nas décadas de 50 e 60 do século XIX, começaram a ser adotados os métodos de construção de máquinas para navios e estradas de ferro na montagem de telescópios, e, na década de 80, foram transformados os sistemas de apoio dos telescópios. Os Observatórios do final do século, como Lick e Yerkes, já seriam construídos com essa nova técnica[96].

As lunetas, usadas – primeiro por Galileu e depois por todos os astrônomos do século XVII até o desenvolvimento do telescópio refletor, por Newton –, apresentavam o grave inconveniente de um tubo bastante longo para corrigir a aberração cromática. Esse grave problema seria resolvido por John Dollond (1706-1761) que, ao colar duas lentes de vidro de índice de refração diferentes (1758), tornou possível às objetivas se acomodarem a focos mais curtos e serem fixadas a tubos adaptáveis às montagens que haviam sido inventadas naquela época.

Graças aos aperfeiçoamentos introduzidos, esses telescópios de refração seriam os preferidos dos Observatórios no século XIX. Como exemplo, bastaria citar as lunetas dos Observatórios de Dorpat (Rússia), de 1824, com objetiva de 42 cm e 4,30 m de foco; de Cambridge, com 32 cm; de Estrasburgo, com 50 cm; de Washington, com 66 cm; de Viena, com 68 cm; de Paris, com 86 cm; de Lick (Califórnia), com 91 cm; e de Yerkes (Universidade de Chicago), com 1,02 cm de diâmetro e 19 m de distância focal[97]. Outros Observatórios importantes do século XIX, com telescópios de refração, foram os de Königsberg, Göttingen, Hamburgo, Florença, Palermo, Cracóvia e Flagstaff (Califórnia).

A grande vantagem do telescópio refletor sobre as lunetas seria a ausência da aberração cromática. O próprio Newton seria o primeiro a construir um, em 1672, com um espelho metálico de concavidade esférica de 25 mm de abertura e 15 cm de foco. O principal defeito era o de deformar a imagem por aberração esférica, o que foi eliminado, em 1720, por John Hadley (1682-1744), que submeteu a concavidade do espelho à forma de um paraboloide. Apesar da dificuldade de fabricar e talhar um espelho metálico, e manter seu polimento, o telescópio refletor foi muito usado na Inglaterra, inclusive por Herschel, que construiu um com espelho de 1,20 m de diâmetro e foco de 12 m. Outro grande telescópio foi construído, em 1845, em sua propriedade, na Irlanda, pelo astrônomo amador William Parsons (Lord Rosse, 1800-1867), com um espelho de 1,83 m de diâmetro e 17 m de foco.

O grande aperfeiçoamento desse tipo de telescópio, que o tornaria mais procurado que as lunetas no século XX, foi devido, em 1856, ao físico

[96] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*
[97] MOURÃO, Ronaldo Rogério. *O Universo.*

francês Leon Foucault (1819-1868) e ao suíço Karl August von Steinheil (1801-1870), inventor e professor de Matemática e Física em Munique, pela substituição do espelho metálico pelo de vidro, com leve camada refletora de prata. Dadas suas vantagens sobre a luneta (rigoroso acromatismo, maior facilidade de fabricação de espelho que lentes, mais curtos que as lunetas, custo mais baixo, maior luminosidade), desde então seriam instalados telescópios refletores de 40 cm a 1,20 m de diâmetro.

6.19.1.2 Novas Técnicas de Pesquisa

Se a luneta revolucionou a Astronomia moderna, ao ampliar a capacidade de observação óptica do Homem, as novas técnicas, aperfeiçoadas, desenvolvidas ou descobertas no século XIX, seriam decisivas para a grande transformação da Astronomia. A Astrofísica, decorrente da nova técnica de Análise espectral, é o melhor exemplo da importância das novas técnicas aplicadas à investigação astronômica, a qual deixaria, assim, de depender exclusivamente da observação telescópica.

As quatro novas técnicas – a espectroscopia, a fotometria, a radiação calórica e a fotografia – resultam da Física aplicada à pesquisa astronômica, sendo que, no caso da espectroscopia, viria a viabilizar o estudo, pela Astrofísica, da composição química dos corpos celestes[98].

Tal desenvolvimento correspondeu, portanto, a um salto tecnológico de profundas repercussões na qualidade e na amplitude da pesquisa astronômica, o que significaria, inclusive, o início de uma nova era da Astronomia moderna. O advento de técnicas de medição e de análise da luz (Fotometria e Espectroscopia) abriu um novo e amplo campo para a Astronomia. Em consequência, no século XIX, a Astronomia passaria a ser dividida, por suas características e âmbito da pesquisa, em dois ramos, o da Astronomia matemática (Astrometria e Mecânica Celeste) e o da Astronomia física (Astronomia estelar e Astrofísica), além da Cosmologia.

6.19.1.2.1 Espectroscopia

A Espectroscopia é um conjunto de técnicas de Análise qualitativa baseado na observação de espectros de emissão ou de absorção de substâncias. Trata-se, assim, do estudo da decomposição da luz, em muitas cores, ao atravessar certos corpos. Se um feixe de luz incidir sobre

[98] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*

a superfície de um prisma, a decomposição obtida do outro lado do prisma é o espectro do emissor da substância que o emitiu. O fenômeno do espectro solar foi observado por Newton em seu prisma de vidro, que separara a luz solar nas sete cores do arco-íris. Durante todo o século XVIII, a observação do espectro solar pouco avançou, permanecendo insuficiente o conhecimento da composição da luz, apesar dos numerosos estudos teóricos no campo da Óptica.

Somente a partir do início do século XIX pode-se considerar que o assunto progrediria, devido aos trabalhos pioneiros do fabricante de lentes e aparelhos astronômicos, o bávaro Joseph von Fraunhofer (1787-1826). Chefe do departamento encarregado da fabricação de lentes e objetivas para telescópios, na firma Utzschneider & Reichenbach, se transformaria Fraunhofer, em pouco tempo, num grande especialista, vindo a fundar, em Munique, no ano de 1817, empresa que se tornaria famosa pela qualidade de seus instrumentos astronômicos. Devido às imperfeições e inadequações da qualidade da refração obtida pelas lentes da época, interessou-se Fraunhofer pela melhoria do índice de refração de vários tipos de vidro para a preparação de lentes acromáticas usadas em seus instrumentos astronômicos. Em experiências de 1819, para determinar o poder dispersivo do vidro de chumbo e do vidro óptico em preparação para uso de telescópio refrator acromático, descobriu Fraunhofer um total de 576 linhas finas e negras no espectro solar (hoje são conhecidas cerca de 22 mil), superposta às cores do arco-íris, o que seria comunicado, no ano seguinte, à Academia de Munique[99]. Além de observar, Fraunhofer determinou a posição das linhas mais importantes, denominadas por ele com as letras de A a K, mediu os respectivos comprimentos da onda e demonstrou que, por caírem a luz solar e a dos planetas sempre nas mesmas zonas do espectro, esta era simplesmente luz refletida do Sol, como, aliás, já inferira Galileu, ao estudar as fases de Vênus. Essas linhas são chamadas, até hoje, de Linhas de Fraunhofer. Adicionalmente, Fraunhofer colocou um prisma no ponto focal de um telescópio, deixando passar a luz vinda de uma estrela, tendo observado que as estrias escuras não tinham a mesma distribuição da luz solar, não tirando daí, contudo, nenhuma conclusão.

Para o desenvolvimento da Análise espectral, foi de fundamental importância o uso e o aperfeiçoamento do espectroscópio, instrumento capaz de separar a luz de uma fonte em seus componentes. O espectroscópio é um aparelho constituído de uma fenda vertical

[99] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

bem fina que é colocada entre o ponto de luz e o prisma[100]. Em suas investigações, Fraunhofer foi o primeiro a usar o retículo (rede de fios finos, com orifícios muito estreitos) no lugar do prisma para produzir um espectro a partir da luz branca. Com o tempo, retículos mais aperfeiçoados seriam desenvolvidos, substituindo o prisma nas observações espectroscópicas.

Nenhum avanço significativo ocorreria de imediato no campo da Análise espectral. O físico austríaco Christian Johann Doppler (1803-1853) descobriu, em 1842, que o som emitido por uma fonte sonora que se desloca na direção do ouvinte parece mais agudo que o emitido por uma fonte que se desloca com o ouvinte, e o som de uma fonte que se afasta do ouvinte parece mais grave. Doppler elaborou uma fórmula matemática, comprovada por experiência, relacionando a altura do som com os movimentos da fonte emissora e o ouvinte, mas, quanto à luz, sua explicação do comportamento da luz oriunda de uma fonte móvel não era suficiente. Em 1848, o físico francês Armand Hippolyte Fizeau (1819-1896) explicou a variação do comprimento da onda da luz de uma estrela e demonstrou que esse resultado poderia ser usado para medir as velocidades relativas das estrelas que estão na mesma linha do sinal, confirmando, assim, a previsão de Doppler (1842)[101]. Esse efeito passou a ser chamado “Efeito Doppler-Fizeau”, que viria a ser de imensa importância para a Espectroscopia.

Trabalhos importantes efetuados, entre outros, pelo inglês George Gabriel Stokes (1819-1903), em 1852, pelo francês Leon Foucault (1819-1868), em 1849, e pelo sueco Anders Ångström (1814-1874), em 1853, indicavam que a linha dupla D de Fraunhofer, do espectro solar, coincidia com a linha dupla amarelo-brilhante do sódio, o que parecia indicar a presença desse elemento no Sol, mas sem atribuir tal linha ao metal.

O problema geral da Espectroscopia seria equacionado por dois alemães, o químico Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) e o físico Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), que trabalhariam juntos nas pesquisas, formando uma parceria eficiente e altamente qualificada: o primeiro, interessado em fotoquímica (reações químicas que produzem ou absorvem luz), pesquisava a luz produzida por meio de filtros coloridos, mas Kirchhoff sugeriria o emprego do prisma. Ambos desenvolveriam um espectroscópio, ao forçar a passagem da luz por uma pequena fenda antes de atingir o prisma. Os diversos comprimentos de onda eram refratados de modo diferente, de maneira que diversas imagens da fenda podiam

[100] GLEISER, Marcelo. *A Dança do Universo.*
[101] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

ser obtidas e projetadas sobre uma escala. Cada imagem possuía uma cor própria.

Basta, no momento, mencionar as importantes contribuições de Bunsen, como teórico e experimentador, à Química, como suas invenções do bico de Bunsen (1854); pilha de carvão; calorímetros de gelo e de vapor; trompa d'água; fotômetro de Bunsen e efusiômetro de Bunsen; suas pesquisas sobre compostos orgânicos e gases; sua descoberta do óxido de ferro como antídoto do arsênio e seus compostos; o isolamento, por processo eletrolítico, do cromo, manganês, magnésio, alumínio e outros metais (1841); e a descoberta dos elementos césio e rubídio. Em 1857, publicou *Método de Medição de Gás*, sua obra clássica sobre os gases dos altos-fornos, e as técnicas para a medição e o controle da produção industrial.

Gustav Kirchhoff foi professor de Física nas Universidades de Breslau e Heidelberg. Dentre suas várias e importantes contribuições para a Física vale lembrar a aplicação da Teoria Mecânica do Calor aos processos físicos e químicos e seus trabalhos sobre hidráulica e eletricidade. Sua fama, contudo, deriva de seus trabalhos em Análise espectral.

Verificaram Bunsen e Kirchhoff, em suas pesquisas, que uma substância, líquida ou sólida, quando incandescente, produzia um espectro contínuo, sem raias. Os gases, ao contrário, apresentavam certo número de raias brilhantes, cujos comprimentos de onda correspondiam à natureza do gás. Essas séries de raias, diferentes para cada gás, serviriam para sua identificação. Interpondo um gás frio entre uma fonte incandescente e a fresta do espectroscópio, verificaram, ainda, raias escuras nas mesmas posições às das ocupadas anteriormente pelas raias luminosas geradas pelo gás em causa, quando luminescente. Os gases absorviam, portanto, do espectro contínuo que os atravessassem, as radiações que lhe são próprias, o que permitia identificá-los. Em outras palavras, as linhas brilhantes sobre um fundo escuro eram devidas a gases incandescentes, e as posições das linhas eram características das da substância química que as irradiava. Um espectro contínuo, como o do Sol, indicava que a fonte era um sólido incandescente ou um corpo gasoso muito denso. As linhas superpostas a tal espectro eram devidas a gases mais frios existentes entre a fonte do espectro contínuo e o observador, sendo as posições das linhas novamente características dos gases particulares em questão[102].

Desta forma, descobriram Bunsen/Kirchhoff que cada elemento, quando aquecido até a incandescência, emitia um conjunto altamente característico de linhas coloridas. Assim, o vapor incandescente de sódio

[102] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

produzia uma dupla linha amarela, como observado por Fraunhofer. Se a luz solar possuía a linha D de Fraunhofer, isto significava que a luz, em seu caminho à Terra, atravessava vapores de sódio, que só poderiam existir na atmosfera do Sol.

Para muitos autores, a data de nascimento da Espectroscopia é 27 de outubro de 1859, quando Kirchhoff fez famosa comunicação à Academia de Berlim com as conclusões das investigações. Em seguida, enunciaria "as três leis simples da emissão e da absorção da luz pelos corpos incandescentes: 1) um sólido, um líquido ou um gás, sob uma forte pressão, emite uma radiação contínua: a decomposição da luz emitida dá um arco-íris; 2) um gás incandescente sob fraca pressão emite uma radiação contínua, à qual se superpõem raias brilhantes, mais ou menos finas: os comprimentos de onda dessas raias são específicos dos elementos químicos do gás incandescente; e 3) quando uma fonte luminosa de radiação contínua é observada através de um gás frio sob fraca pressão, aparecem raias sombrias sobre o espectro contínuo da fonte, nos mesmos comprimentos de onda das raias de emissão produzidas por esse gás quando se tornou incandescente"[103].

Pela técnica da espectroscopia, em 1860, o césio, e em 1861, o rubídio foram descobertos por Bunsen e Kirchhoff; o hidrogênio no Sol, em 1862, por Ångström (primeiro a estudar o espectro da aurora boreal em 1867); o tálio, também em 1862, por William Crookes; o hélio, por Lockyer, em 1868; o índio, por Reich e Richter; e o gálio, em 1875, por Lecoq de Boisbaudran.

Desta forma, além da enorme contribuição que significava a Análise espectral para a Química, ficou evidente, desde o início, para os astrônomos, que essa nova técnica seria igualmente de inestimável valor para suas investigações dos corpos celestes, como a composição química, temperatura, pressão, densidade, existência de campos elétricos e magnéticos, velocidade de rotação e velocidade radial dos astros, inclusive daqueles nunca vistos pelo Homem. Em consequência, os astrônomos e os Observatórios se preparam para utilizar a nova e revolucionária técnica, a qual apresentaria, imediatamente, excelentes resultados.

Além do importante papel no desenvolvimento da Física e da Química, deve-se ressaltar que o emprego, cada vez maior, da Análise espectral dos corpos celestes, com as novas técnicas, em particular a espectroscopia, a fotometria e a fotografia, daria origem à Astrofísica, parte integrante e cada vez mais importante da Astronomia.

[103] VERDET, Jean Pierre. *Uma História da Astronomia.*

6.19.1.2.2 Fotometria

O grande astrônomo grego, Hiparco, criou o primeiro catálogo de estrelas (cerca de mil), incluindo uma primeira estimativa de brilho de cada uma das estrelas catalogadas; à intensidade da luminosidade estelar deu o nome de magnitude, denominação utilizada até hoje. Hiparco classificou a luminosidade em seis níveis de magnitude, sendo que quanto mais brilhante a estrela, menor a magnitude, que era estabelecida pela simples sensação de luz captada a olho nu. Assim, as 20 mais brilhantes estrelas foram classificadas como de primeira magnitude; as um pouco menos brilhantes, como de segunda magnitude; seguindo-se as de terceira, quarta e quinta magnitudes, até as menos brilhantes, apenas visíveis, de sexta magnitude. Essa classificação de Hiparco foi adotada, sem contestação, até o século XVII, quando os astrônomos, equipados com as lunetas, começaram a considerá-la como imprecisa e imperfeita. A falta de condições técnicas instrumentais e de conhecimento científico a respeito da luz impediu uma revisão do trabalho pioneiro de Hiparco.

A técnica da Fotometria data, no entanto, do século XVIII com os trabalhos pioneiros do físico francês, membro da Academia de Ciências, Pierre Bouguer (1698-1758) sobre a luminosidade de um ponto de luz. Por seus trabalhos sobre a gradação da luz, os fatores de transmissão e de reflexão da luz e a criação dos métodos de medidas fotométricas, Bouguer é considerado, muito justamente, como o pai da Fotometria. Escreveu, em 1728, o *Ensaio sobre a gradação da luz*, no qual enunciou a lei da variação da luminosidade e tratou de transparência e de opacidade, e, em 1760, o *Tratado de Óptica*. Outro importante pioneiro foi o matemático alsaciano Johann Heinrich Lambert, autor de *Fotometria* (1760), na qual estudou um conjunto de diversos problemas ligados a essa nova técnica. Lambert foi editor, a partir de 1774, em Berlim, de um almanaque astronômico; em sua homenagem, uma medida de intensidade da luz recebeu o seu nome.

Ao longo do século XIX, os estudos progrediram bastante no campo da Óptica, particularmente quanto aos aspectos da dupla refração, polarização cromática e intensidade da luminosidade. Os físicos Etienne Louis Malus (1775-1812), Thomas Young (1773-1829), Jean Baptiste Biot (1774-1862), Dominique Arago (1786-1853) e Augustin Jean Fresnel (1788-1827), entre outros, contribuíram com seus estudos e investigações para o grande desenvolvimento da Fotometria, e sua utilização na Astronomia[104].

O desafio da medição da radiação da luz estelar (do Sol ou de qualquer outra estrela) que não foi absorvida ao atravessar a atmosfera

[104] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

terrestre se constituiria, assim, no principal objetivo da Fotometria, o que redundaria num melhor conhecimento do sistema estelar quanto ao brilho da luz recebida das estrelas. Seu estudo é do âmbito da Astronomia estelar.

A primeira aplicação, para fins astronômicos, da Fotometria, foi realizada por John Herschel (1792-1871) na cidade do Cabo, em 1836, quando mediu a luminosidade de 191 estrelas e estabeleceu uma primeira escala fotométrica estelar, prejudicada, contudo, pelas condições ainda precárias, de medição. Nessa mesma época, Karl August von Steinheil (1801-1870) desenvolveu um fotômetro com melhor capacidade para comparar diretamente a luminosidade da estrela real e da estrela artificial. O físico Arago criaria, igualmente, um fotômetro, e Friedrich Zollner (1834-1882) criaria um novo tipo de fotômetro que equalizaria o brilho de uma estrela artificial ao de uma estrela real.

Os fotômetros desenvolvidos no século XIX preencheriam a lacuna técnica, permitindo a introdução de uma classificação científica, quantitativa, de expressão matemática, logarítmica, para a magnitude. Em 1879, seria estabelecida a atual escala fotométrica, prontamente aceita pela comunidade astronômica, a qual se baseou no trabalho, de 1856, do astrônomo inglês Norman Pogson (1809-1891). Notara Pogson que a Terra recebe 100 vezes mais luz de uma estrela de primeira magnitude do que de uma de sexta magnitude; a diferença de cinco magnitudes tem, assim, uma relação de 100:1 de energia recebida, que é chamada de fluxo luminoso. De acordo com os cálculos de Pogson, a cada aumento de magnitude de uma estrela corresponderia um aumento no montante de energia recebida da luz de cerca de 2.512, que é a raiz quinta de 100. Assim, uma estrela de quinta magnitude é 2.512 vezes mais brilhante que uma de sexta magnitude e uma de quarta magnitude é 6.310 vezes mais brilhante que uma de sexta magnitude. A olho nu, pode-se observar uma estrela até sexta magnitude, que é +6. Na escala fotométrica, algumas estrelas podem ter magnitudes negativas (Sirius é –1,5, a Lua cheia cerca de –12,5 e o Sol –26,51).

6.19.1.2.3 Radiação Térmica

A técnica da utilização da Radiação Térmica para um melhor entendimento da radiação solar se desenvolveria depois que o físico alemão Thomas Johann Seebeck (1770-1831) descobriu, em 1821, os efeitos termoelétricos, isto é, uma corrente elétrica se estabelece num circuito heterogêneo quando as soldas ligando os diferentes condutores

estão com temperaturas diferentes[105]. Pouco depois, o físico francês Jean Charles Peltier (1785-1845) descobriu o que se chama de “efeito Peltier”, efeito térmico no circuito voltaico, que permitiria a construção de pilhas termoelétricas com um significativo aumento da sensibilidade para medir a temperatura da radiação solar.

Contribuição importante seria a do físico italiano Macedonio Melloni (1798-1854) que, além de aperfeiçoar, com a colaboração de Luigi Nobili, em 1831, uma pilha termoelétrica para o estudo da radiação térmica, apresentou, em 1843, estudo do espectro solar, no qual afirmaria que a irradiação luminosa e a irradiação térmica eram dois aspectos do mesmo fenômeno, contrariamente à ideia errônea formada desde a descoberta de Wilhelm Herschel (1780) da radiação infravermelha.

O bolômetro, instrumento muito sensível para medir o calor brilhante da radiação solar, foi inventado em 1851, por Svanberg, e aperfeiçoado, em 1880, pelo inventor e físico americano Samuel Pierpont Langley (1834-1906), secretário do *Smithsoniam Institute* e diretor do Observatório Alleghenny. O novo instrumento, muito superior às pilhas termoelétricas, por ser mais sensível às variações mínimas de temperatura, da ordem de 100 milésimos de grau, permitiria a descoberta e o estudo de linhas e bandas de absorção da região infravermelha.

O astrônomo inglês William Huggins (1824-1910) mediria, a partir de 1868, a irradiação térmica da luz recebida de algumas estrelas brilhantes, o que evidencia o grande progresso nas pesquisas.

O estudo da Radiação Térmica da luz solar se situa no quadro maior da Análise espectral, do âmbito da Astrofísica. Na classificação das estrelas, suas temperaturas e consequentes cores (branca, azul, amarela, laranja, vermelha) já poderiam ser estabelecidas no século XIX, graças ao desenvolvimento da técnica da pesquisa da radiação térmica e sua aplicação à Astronomia.

6.19.1.2.4 Fotografia

A técnica da fotografia foi desenvolvida no século XIX, a partir das experiências do francês Joseph Nicéphore Niepce (1765-1833) no campo da litografia, descoberta pelo checo Aloys Senefelder (1771-1834), em 1796, mas tornada pública em 1802. Utilizando cloreto de prata, conseguiria Niepce, em 1822, fixar a primeira foto. Em colaboração com o pintor Louis Jacques Mandé Daguerre (1787-1851),

[105] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

igualmente interessado na reprodução de imagem, Niepce prosseguiria nas pesquisas até sua morte, em 1833. Daguerre continuaria sozinho em suas pesquisas até apresentar, em 1839, seu método dos daguerreótipos: as fotografias eram feitas sobre lâminas de cobre prateadas e enfumaçadas com vapores de iodo; depois de expostas, eram reveladas sobre mercúrio quente. O positivo assim produzido era o daguerreótipo.

Considera-se o dia 19 de agosto de 1839 como a data de nascimento da fotografia, pois foi quando o físico e astrônomo François Arago (1786-1853) deu conhecimento à Academia de Ciências de Paris da descoberta de Daguerre. O processo, muito demorado, seria aprimorado pelo inglês William Fox Talbot, que descobriu o "negativo-positivo" (brometo de prata para os negativos transparentes e papéis de cloreto de prata para obtenção de positivos) e o método de reprodução de cópias, em qualquer quantidade a partir de um original negativo[106]. Seu invento foi patenteado em 1841.

A técnica fotográfica, ainda que em seu estágio inicial, viria a ser aproveitada pelos astrônomos para ajudá-los em suas pesquisas astronômicas. Assim, a primeira fotografia no campo da Astronomia foi a da Lua, em março de 1840, pelo inglês John W. Draper (1811-1882), e a do Sol, em 1845, por Hippolyte Fizeau (1819-1896) e Leon Foucault (1819-1868)[107]. Um eclipse seria fotografado, pela primeira vez, em 1851, por Foucault. Pouco depois, William Bond (1789-1859) tiraria a primeira foto de uma estrela, a Vega, em 1850, e no ano seguinte, da Lua.

Avanços técnicos melhorariam significativamente a qualidade da fotografia, como a introdução, em 1851, de placas úmidas no processo do colódio (Frederick Archer, 1813-1890), substituição da emulsão de brometo de prata em colódio (1863, por B. J. Sayce e W. B. Bolton) pela emulsão de brometo de sódio em gelatina (Richard Leach Maddox em 1873). Em 1877, firmas inglesas já produziam placas secas de gelatina. Ainda em 1873, o astrônomo alemão Hermann Vogel (1842-1907) descobriria que juntando certas tinturas à emulsão aumentava a sensibilidade das cores.

Deve ser também consignado que, em 1858, o astrônomo inglês Warren de la Rue (1815-1889) inventou o fotoheliógrafo, instrumento destinado a fotografar o Sol[108].

O crescente uso da técnica fotográfica nas investigações astronômicas foi, por sua capacidade de registro de corpos celestes

[106] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[107] MOURÃO, Ronaldo Rogério. *O Universo.*
[108] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

invisíveis, mesmo para os mais potentes telescópios, e por permitir guardar imagens para futuro exame, um dos principais fatores do extraordinário desenvolvimento da Astronomia na segunda metade do século XIX. A fotografia permitiria a preparação de mapas da abóbada celeste mais exatos com a determinação da posição exata de milhões de estrelas. Fotografias de planetas, estrelas, cometas, nebulosas e outros corpos celestes abriram novas perspectivas para os pesquisadores, que passaram a dispor de uma formidável técnica, resultante da Física aplicada e da Química aplicada, para avançar nas suas observações astronômicas.

O astrônomo inglês William Huggins, em 1875, aperfeiçoaria o método fotográfico na espectroscopia celeste, deixando em exposição à luz de um corpo celeste, logo de efeito cumulativo, uma chapa fotográfica, cujo espectro podia ser observado a olho nu e medido. Em 1880, Henry Draper (1837-1882) e Ainslee Common (1841-1903) fotografaram a nebulosa de Orion, e, em 1881, com Draper, Huggins fotografou o primeiro cometa.

O astrônomo e físico americano, Lewis Morris Rutherford (1816-1892), notabilizou-se por suas pesquisas fotográficas e espectroscópicas da Lua, do Sol, de Júpiter, de Saturno e de estrelas até a 5ª magnitude. Em 1864, fotografou o espectro solar. Construiu Rutherford um telescópio especial para uso da fotografia em suas pesquisas astronômicas e desenvolveu um micrômetro com vistas a medir posições dos corpos celestes na fotografia.

Os irmãos Paul (1848-1905) e Prosper (1849-1903) Henry, ambos do Observatório de Paris, desenvolveram objetivas capazes de fotografar estrelas até a 14ª magnitude, tendo fotografado as Plêiades, em 1885. Diante de tão auspicioso resultado, foram incumbidos, por uma Conferência Astronômica, de iniciativa do Observatório de Paris, de preparar uma *Carte du Ciel* com estrelas até a 14ª magnitude, e um catálogo com os locais de estrelas até a 12ª magnitude, exatamente medidos[109]. Como as chapas eram de duas polegadas quadradas, os eventuais erros de distorção eram insignificantes, mas a necessidade de um grande número de chapas era tão grande que o projeto só seria concluído em 1964, sob a forma de *Catálogo Astrográfico*[110].

O astrônomo britânico David Gill (1843-1914) e o holandês Jacobus Kapteyn (1851-1922) iniciariam, em 1885, na Cidade do Cabo, o levantamento fotográfico das estrelas do Hemisfério Sul, que seria terminado em 1900.

Em 1888, a galáxia Andrômeda seria fotografada por Isaac Roberts (1829-1904). Em 1889, o astrônomo americano George Ellery

---

[109] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy*.
[110] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences*.

Hale (1868-1938), no Observatório Kenwood, em Chicago, construiu um espectroheliógrafo para fotografar o Sol. Ainda em 1889, o astrônomo americano Edward Emerson Barnard (1857-1923) começaria a fotografar a Via Láctea, descobriria 16 cometas, e, em 1892, o quinto satélite de Júpiter.

Em 1891, o astrônomo alemão Max Wolf (1863-1932) faria a identificação fotográfica de um asteroide, o Bruscia, o 323° asteroide descoberto.

Em 1898, o astrônomo americano James Edward Keeler (1857-1900) fez observações fotográficas de mais de 120 mil galáxias, com o telescópio, o que lhe serviria para demonstrar que a forma mais comum das galáxias observadas era a espiral.

6.19.2 Astronomia Matemática

A chamada Astronomia matemática é uma das duas principais divisões da Astronomia moderna. O vínculo da Astronomia com a Matemática remonta aos primórdios dos tempos históricos, mesmo quando sua utilidade era praticamente restrita à preparação de calendários, solar ou lunar, à fixação de datas de cerimônias e práticas religiosas, e à determinação de épocas de plantio e colheita agrícola. A mera observação, ainda que sistemática, dos fenômenos astronômicos, não seria suficiente, como base metodológica, para uma compreensão fundamentada do que era observado na abóbada celeste.

O recurso à Matemática se impôs, desde os tempos gregos, como instrumento necessário para o entendimento do Universo. A estreita relação da Astronomia com a Matemática é, assim, intensa, antiga e mutuamente benéfica, porquanto proporcionou, ao longo dos séculos, uma recíproca influência que determinaria o desenvolvimento das duas Ciências. O avanço no conhecimento matemático teria repercussões favoráveis nas investigações astronômicas, que, por sua vez, influiriam nas pesquisas matemáticas em busca de respostas adequadas aos problemas decorrentes dessas observações. Ao astrônomo, coube a descoberta dos fenômenos e dos corpos celestes, mas a dedução das leis astronômicas coube aos matemáticos.

Como Ciência da observação, a História da Astronomia registra as descobertas efetuadas pelos astrônomos em suas observações, no início a olho nu, e os avanços alcançados com o aprimoramento e descoberta de aparelhos e instrumentos astronômicos. A galeria da Astronomia, porém, está repleta, desde meados do século XVI, início da Astronomia moderna,

até o século XIX, de matemáticos e astrônomos-matemáticos, cujas contribuições para o desenvolvimento desta Ciência evidenciam a imensa contribuição da Matemática. Uma lista exemplificativa demonstra essa estreita relação: Copérnico, Peurbach, Regiomontanus, Rheticus, Clavius, Frisius, Digges, Kepler, Galileu, Huygens, Römer, Borelli, Newton, Halley, Leibniz, Euler, os Bernoulli, Clairaut, Maupertuis, Lambert, D'Alembert, Lagrange, Laplace, Legendre, Gauss, Poisson, Jacobi, Hamilton, Möbius e Poincaré. Mesmo se astrônomos, como Tycho Brahe, Cassini, Herschel, Messier, Lalande, Hevelius ou Bradley, não tivessem formação ou sólida base matemática, não deixariam de recorrer à Matemática em suas pesquisas.

Dois ramos podem ser nitidamente estabelecidos dentro da Astronomia matemática: a Astrometria e a Mecânica Celeste.

6.19.2.1 Astrometria

A Astrometria, também conhecida como Uranometria e Astronomia de posição, é o ramo da Astronomia matemática que trata da medição da dimensão e da posição dos astros e de seus movimentos. Desta forma, suas pesquisas objetivam a descrição da abóbada celeste com a preparação de mapas e catálogos das estrelas.

A Astrometria é um dos mais antigos ramos da Astronomia, considerando-se que teve origem com Hiparco, que elaborou o primeiro catálogo, com 850 estrelas, e estabeleceu a divisão das estrelas, por seu brilho, em seis classes ou magnitudes. O fracasso nas diversas tentativas de medir, com certa precisão, as distâncias dos corpos celestes, em particular das estrelas, era devido à falta de adequados instrumentos e de suficientes avanços nos cálculos matemáticos. Galileu foi o primeiro a tentar medir a distância das estrelas através da paralaxe, mas sua luneta, ainda primitiva e bastante deficiente, não foi capaz de detectar qualquer movimento.

As tentativas, entre outras, de Hooke, Picard, Flamsteed, Hevelius, Cassini, Halley, Lacaille, Bradley, Mayer, Messier, Lalande e Herschel fracassariam, igualmente, por falta de apropriada instrumentação, apesar da preparação de mapas e catálogos sobre uma variedade de corpos celestes, como estrelas, planetas, satélites, cometas, nebulosas. Os astrolábios, e, principalmente, os sextantes, importantes instrumentos para medição de ângulo, não foram capazes de fornecer ao astrônomo as informações necessárias e requeridas.

Ao final do século XVIII, o desconhecimento das distâncias dos corpos celestes, uma ideia apenas aproximada da distância do Sol,

o conhecimento imperfeito e incompleto do Sistema Solar, e a incipiente e insuficiente noção do sistema estelar impediam uma compreensão correta das dimensões do Universo. Distâncias confiáveis e a estrutura do Universo só poderiam ser estabelecidas a partir da medição de paralaxe estelar a centésimos de segundo de arco, precisão que requeria o concurso de um conhecimento indisponível na época[111].

No século XIX, continuaria como prioridade a pesquisa no campo da Astrometria, quando então seriam feitos notáveis progressos. Para muitos autores, o marco da Astrometria moderna foi a publicação da *Fundamenta Astronomiae*, em 1818, do astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846), na qual sistematizou e corrigiu as posições de 3.222 estrelas observadas pelo astrônomo inglês James Bradley (1693-1762). Pouco depois, publicaria Bessel a *Tabulae Regiomontanae* (1830), na qual estabeleceu um sistema uniforme de sistematização, que serviria de modelo por muito tempo. A contribuição de Bessel à Astrometria não se limitaria, contudo, a essas duas grandes obras. Professor de Astronomia na Universidade de Königsberg, supervisor da construção do Observatório dessa cidade, à frente do qual permaneceria, como Diretor, desde a fundação, em 1813, até o fim de sua vida, dedicou-se Bessel à medição exata das posições e dos movimentos das estrelas mais próximas, fazendo correções de erros causados por imperfeições dos telescópios e por distúrbios na atmosfera. Mediu a distância interestelar de cerca de 50 mil estrelas, e seu maior triunfo foi ter medido, por primeira vez, a distância de uma estrela à Terra. De seu Observatório em Königsberg, Bessel detectou, em 1838, com um heliômetro fabricado por Fraunhofer, que a estrela Cisne 61, descoberta por Giuseppe Piazzi, duas décadas antes, e admitida como a mais próxima da Terra, por sua rápida rotação, se movia, em comparação com duas outras estrelas vizinhas, aparentemente num movimento anual elíptico; essa paralaxe só poderia ser causada pelo movimento de translação da Terra. A paralaxe, calculada em 0,3136" (bastante próxima da atual de 0,30" ± 0,003"), corresponde a uma distância da Terra de 590 mil unidades astronômicas, ou de 10,4 anos-luz[112].

A descoberta de Bessel tem um significado especial na evolução do conhecimento do Universo. Como a descoberta da aberração da luz, por Bradley, a paralaxe estelar se constituiu numa prova visível da teoria de Copérnico de que a Terra se movia no espaço, cuja dimensão, agora, se ampliava enormemente, adquirindo proporções impensadas. A Astronomia, até então limitada ao Sistema Solar, que se confundia com o próprio Universo,

[111] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*
[112] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

passaria à investigação da Galáxia, ou Via Láctea, abrindo, assim, novas perspectivas para um conhecimento do Universo de novas dimensões.

O astrônomo germano-russo Friedrich Georg Wilhelm von Struve (1793-1864), professor de Astronomia e de Matemática na Universidade de Dorpat, diretor do Observatório de Dorpat, em 1817, e depois, do Observatório de Pulkovo, publicou, em 1837, seu catálogo *Medidas Micrométricas das Estrelas Duplas*, considerado, por isto, o fundador do estudo moderno das estrelas binárias. Nesse trabalho, Struve registrou 3.112 estrelas binárias (75% das quais eram desconhecidas), dentre as 120 mil estrelas catalogadas. Pouco depois, Struve anunciou, em 1840, ter medido, no ano de 1838, a paralaxe da estrela Vega, a quarta estrela mais brilhante do céu, com um valor de 0,2613", correspondendo a 27,5 anos-luz (cálculo de hoje é de 0,12" ou uma distância de 12,5 anos-luz). Struve utilizara para sua pesquisa um micrômetro[113].

Nessa mesma época, o astrônomo escocês Thomas Henderson (1798-1844), então diretor do Observatório do Cabo da Boa Esperança, observou a estrela, de 1ª magnitude, Centauro (na realidade, três estrelas com órbitas uma em volta da outra), detectando, em 1840, sua paralaxe, mais tarde fixada em 0,76", a maior do todas as paralaxes estelares, o que a coloca, após o Sol, como a estrela mais próxima da Terra, a uma distância de 270 mil unidades astronômicas, ou 41 trilhões de km ou cerca de 4,4 anos-luz de distância[114].

A descoberta das paralaxes de Cisne 61, Vega e Centauro, foi, em realidade, pouco depois de o astrônomo Johann Franz Encke (1791-1831), diretor do novo Observatório de Berlim, ter anunciado, em 1835, a paralaxe do Sol. Encke usou as observações dos trânsitos de Vênus, ocorridos em 1761 e 1769. Os trabalhos, baseados em estudos matemáticos de Gauss, foram publicados em 1822 e 1824, para medir a paralaxe solar, cujo valor foi de 8,5716" ± 0,0371.

Os astrônomos, em diversas partes do Globo, se prepararam para investigar os trânsitos de Vênus, de 8 de dezembro de 1874 e de 6 de dezembro de 1882, tendo como fundo o disco solar. Os resultados discrepantes, devidos à medição de um objeto contra um fundo luminoso, decepcionaram os pesquisadores. Várias medições posteriores procurariam chegar a uma medição exata, como a de David Gill (8,78"). Em 1898, Gustav Witt (1866-1946) descobriu um pequeno asteroide (Eros), na órbita de Marte, que serviria de referência para a determinação da paralaxe solar, calculada em 8,807" ± 0,003" pela medida fotográfica, e em 8,806 ± 0,004 pela medição visual[115].

113 TATON, René. *La Science Contemporaine.*
114 PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*
115 PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*

Henderson, em 1837, mediu a paralaxe equatorial horizontal da Lua, no valor de 57’ 01,8”.

O interesse despertado na comunidade astronômica internacional pelas revelações da Astrometria levaria a uma série de investigações da parte de vários astrônomos (William Elkin, Peter Hansen, Georg Auwers, George Airy). Ao final do século, já eram conhecidas as medidas paralaxes de cerca de 50 estrelas.

Ao mesmo tempo que se desenvolvia a pesquisa para a determinação das paralaxes estelares, o avanço nas observações astronômicas permitiria a elaboração de mapas e cartas do céu, com informações sobre posição e distância estelares. Importantes contribuições nesse mapeamento das estrelas foram o catálogo de Giuseppe Piazzi, de 1814, com 7.646 estrelas; o *Novo Atlas Celeste*, de 1808/23, de Karl Ludwig Harding; a *Carta da Academia de Berlim*, de 1824, com cerca de 40 mil estrelas da zona zodiacal; o catálogo e cartas de nebulosas e aglomerados de estrelas do hemisfério sul, de 1847, de John Herschel; o famoso catálogo de Bonn, de 1859/62, de Friedrich Argelander, com 324.188 estrelas, ampliado, em 1886, por Eduard Schonfeld, com mais 133 mil estrelas; o catálogo de Richard Carrington, de 1857, com 3.735 estrelas circumpolares; a *Carta do Céu*, do Observatório de Paris, iniciada pelos irmãos Henry (Paul e Prosper) em 1888, mas só concluída em 1964; e a *Carta Fotográfica do Cabo*, de David Gill (1843-1914) e Jacobus Kapteyn, de 1896/1900, com o catálogo da posição e magnitude de 454.875 estrelas do hemisfério sul[116].

O último catálogo elaborado sem a ajuda da fotografia seria o *Bonner Durchmusterung* (*Mapa de Bonn*) de Argelander. O desenvolvimento da técnica fotográfica e de sua utilização nas investigações astronômicas seria um importante fator na grande melhoria da qualidade dos estudos sobre a posição das estrelas, uma vez que, somente no século XX, esta técnica seria utilizada para a determinação das paralaxes.

Conhecidos a paralaxe solar e o raio equatorial da Terra (6,378 km), obtem-se a unidade astronômica de 149,7 milhões de km. Essa unidade é usada tanto para medir as distâncias, quanto para calcular as dimensões dos corpos celestes, cujos diâmetros devem, assim, ser medidos com muita exatidão. O instrumento mais eficiente e mais usado para esse fim, no século XIX, foi o heliômetro. Os semidiâmetros de cinco planetas foram, então, por primeira vez, conhecidos: o de Mercúrio (2.380 km), Vênus (6.372 km), Marte (3.370 km), Júpiter (70.550) e Saturno (59.310). O semidiâmetro do Sol foi calculado em 696.400 km, o que significa ser 109.2 vezes maior que o da Terra[117].

[116] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[117] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*

6.19.2.2 Mecânica Celeste

Ramo da Astronomia matemática relativa aos movimentos orbitais dos corpos celestes, suas bases e fundamentos estão assentados nas três Leis do movimento e na Lei universal da gravitação, de Isaac Newton, no *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, de 1687.

As primeiras investigações, no século XVIII, com o intuito de estabelecer suas órbitas, se referiam aos movimentos da Lua e dos cometas. No particular, foram importantes as contribuições pioneiras, entre outras, de Halley, Mayer, Bradley, Clairaut, D'Alembert, Lagrange, Bode e Olbers. No final do século, Laplace, em sua obra *Mecânica Celeste*, em cinco volumes, publicada de 1798 a 1827, argumentaria que a estabilidade e o equilíbrio do Sistema Solar seriam preservados pela autocorreção.

Desde Kepler que já era do conhecimento dos astrônomos de que havia, na estrutura do sistema planetário, uma distância entre Marte e Júpiter muito maior do que a existente entre os demais conhecidos planetas. Esse distanciamento intrigava os astrônomos dos séculos XVII e XVIII, que não encontravam uma explicação plausível para esta situação, e não foram capazes de descobrir um fato que pudesse justificá-la.

No primeiro dia do século XIX, ou seja, em 1 de janeiro de 1801, Giuseppe Piazzi, do Observatório de Palermo, observou um pequeno corpo celeste, de 7ª magnitude, que se movia. Pensou, inicialmente, tratar-se de uma estrela ou de um cometa, chegando, depois, à conclusão de se tratar de um pequeno planeta. No meio de seus estudos sobre essa descoberta, perdeu Piazzi contato visual com aquele corpo celeste, que depois seria classificado como "asteroide", e receberia o nome de Ceres, deusa protetora da Sicília. O jovem matemático Karl Friedrich Gauss, que estudava, naquele momento, o problema das órbitas planetárias, ao receber as anotações de Piazzi aplicou seu novo método de cálculo à determinação da órbita do corpo celeste, o qual seria novamente observado, antes do fim daquele ano, na posição calculada por Gauss. Seu método de cálculo de órbita (método dos mínimos quadrados) seria, pouco depois, publicado (1809) sob o título *Theoria motus corporum coelestium* e viria a ser utilizado ao longo do século XIX.

Em abril de 1802, o astrônomo Heinrich Wilhelm Olbers descobriu o asteroide Palas, na mesma região em que fora encontrado Ceres, no ano anterior. Sua órbita, calculada por Gauss, era praticamente do tamanho da de Ceres, mas bastante inclinada para a elíptica. Em 1804, Karl Ludwig Harding descobriu o asteroide Juno, e Olbers descobriria, em 1807, outro asteroide, Vesta, na mesma zona que os demais. Suas órbitas, calculadas

pelo método descoberto por Gauss, eram, praticamente, do mesmo tamanho, de 2,3 – 2,8 vezes a órbita da Terra, e períodos de revolução entre 3,6 e 4,6 anos. Todos se localizavam numa faixa entre Marte e Júpiter, que viria a ser conhecida como "zona dos asteroides"[118].

Durante 40 anos, não se descobriu mais nenhum asteroide, apesar de estarem os astrônomos convencidos de que deveria haver um número muito mais significativo desses corpos celestes que apenas quatro. A iniciativa da Academia de Berlim de elaborar um mapa de estrelas até a 9 ª magnitude, da zona do zodíaco, com o intuito de detectar asteroides, daria resultados positivos de imediato[119]. Em 1845, Karl Ludwig Henke descobriu Astreia, o quinto asteroide, e, em 1847, o Hebe; já em 1852 se conheciam 20 asteroides, número que subiu para 110, em 1870. A introdução de novas técnicas fotográficas permitiria a Max Wolf (1863-1932) descobrir um total de 248 desses corpos celestes. Ao final do século XIX, o número total de asteroides conhecidos atingira 450[120], cujas órbitas foram calculadas segundo o método de Gauss.

Outro corpo celeste, parte do Sistema Solar como os planetas e os asteroides, que mereceria especial atenção dos astrônomos seriam os cometas, conhecidos desde a Antiguidade, mas sobre os quais se dispunha de muito pouca informação. Imaginados como um fenômeno atmosférico, acreditava-se que eram sinal de mau presságio, como ocorrência de enchentes, terremotos e outros desastres naturais. A medição de sua paralaxe por Tycho Brahe provaria movimentar-se o objeto celeste fora da atmosfera terrestre, cuja órbita seria ao redor do Sol. Progresso significativo seria alcançado no século XVIII, quando Halley, aplicando a Lei da Gravidade, recém-formulada por Newton, previu, em 1705, em sua *Uma Sinopse da Astronomia dos Cometas* (com uma análise de 24 cometas), o retorno, em 1758, do cometa de 1456, 1531, 1607 e 1682. Conhecido como cometa Halley, o reaparecimento do cometa no intervalo de 76 anos, como previsto, indicava uma órbita elíptica muito alongada.

O segundo cometa de órbita periódica (3,3 anos) foi descoberto em 1821 pelo astrônomo alemão Johann Franz Encke (1791-1831), cometa hoje conhecido pelo nome de seu descobridor, mas que já havia sido observado em 1795, 1805 e 1818. O astrônomo francês Jean Louis Pons (1761-1831), que descobriu um total de 37 cometas (quatro periódicos, dos quais dois têm seu nome), teria sugerido a Encke tratar-se do mesmo cometa. Heinrich Olbers, que descobrira os asteroides Palas e Vestra, descobriu,

[118] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[119] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*
[120] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

em 1815, um cometa periódico, e sustentava que a cauda desses corpos apontava em direção oposta à do Sol, por causa da pressão da radiação solar (o que seria posteriormente comprovado). Olbers previu, ainda, que a Terra passaria através da órbita do cometa Biela. Wilhelm von Biela (1784-1856), oficial do Exército austríaco e astrônomo amador, descobriu, em 1826, com órbita periódica de 6,6 anos, cometa que reapareceu em 1845, dividido em dois, cujos fragmentos retornaram, em 1852, como cometas gêmeos; o cometa Biela foi visto pela última vez em 1872, quando a Terra atravessou sua órbita, tendo, então, sido observada uma chuva de meteoros brilhantes. O astrônomo francês Hervé Faye, em 1843, observou um cometa periódico, e o astrônomo italiano Giovanni Donati, por meio da espectroscopia, determinou a composição gasosa dos cometas e descobriu seis cometas (1858), um dos quais recebeu seu nome. Em 1883, Max Wolf, o grande descobridor de asteroides, descobriria um cometa periódico, conhecido como 14P/Wolf. Poucos cometas periódicos, num total de 16, foram observados no século XIX.

Após a descoberta do planeta Urano, em 1781, por Wilhelm Herschel, os estudos sobre sua órbita indicavam uma trajetória em desacordo com a Lei da Gravitação Universal. Em consequência, vários astrônomos suspeitavam que outro astro, mais distante do Sol, deveria ser a causa de tal anomalia na gravitação de Urano[121].

Na Inglaterra, o matemático John Couch Adams (1819-1892), e na França, o astrônomo e matemático Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877), estudariam, independentemente, os cálculos matemáticos para localizar o eventual astro perturbador. O astrônomo Real, George Biddell Airy, impediria (1845) a Adams de publicar seus trabalhos sobre o assunto, sob a alegação de que as anomalias de trajetória se deviam a imperfeições da própria teoria newtoniana da gravitação. As observações astronômicas em Greenwich e Cambridge não confirmavam as suspeitas de Adams.

Na mesma época (1845), na França, Arago, que persuadira Le Verrier a estudar a questão, sugeriu a apresentação do trabalho à Academia de Ciências. Le Verrier, em 10 de novembro de 1845, apresentaria a *Primeira Memória sobre a teoria de Urano*, seguida, em 1 de junho de 1846, de uma segunda *Memória* com o título *Pesquisas sobre os movimentos de Urano* e, em 31 de agosto, do último e decisivo texto, intitulado *Sobre o planeta que produz as anomalias observadas no movimento de Urano. Determinação de sua massa, sua órbita e de sua posição atual*[122]. Em 18 de setembro, escreveu Le Verrier ao astrônomo alemão Johann Galle, do Observatório de Berlim, dando-lhe todas as informações necessárias para

[121] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*
[122] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*

observar o planeta. A carta chegou em 23 de setembro, e nessa mesma noite Galle e seu assistente Henri d'Arrest apontaram a luneta para a região indicada. Nenhum planeta foi reconhecido de imediato, mas depois de comparar a região pesquisada com uma carta da mesma zona, antes de 1845, Galle constatou, naquela mesma noite de 23 de setembro, na posição indicada por Le Verrier, um corpo celeste que não se encontrava ali alguns anos antes. Tratava-se de Netuno, um novo planeta do Sistema Solar, descoberto por meio do cálculo matemático, confirmando a Mecânica newtoniana.

Apesar do êxito da obra de Le Verrier, havia ele atribuído ao planeta desconhecido uma massa 32 vezes maior que a da Terra, grandeza retificada para 17 vezes, após a descoberta, em outubro de 1846, por William Lassell (1799-1880) do satélite Tritão, que na mitologia grega é filho de Netuno. Acrescente-se que Lassell descobriu, em 1851, mais dois satélites de Netuno: Ariel e Umbriel.

Em 1852, Johann von Lamont (1805-1879) calcularia as órbitas dos satélites saturnianos Enceladus e Tétis, a massa de Urano e as órbitas de seus satélites Ariel e Titã.

Após as importantes contribuições de Lagrange (*Ensaios sobre o problema dos três corpos*, de 1772, e sobre o movimento da Lua, de 1773, *Memória* sobre as órbitas dos cometas, de 1778, e sobre a estabilidade das órbitas planetárias, de 1776, e o Tratado *Mecânica Analítica*, de 1788) e de Laplace (*Tratado de Mecânica Celeste*, de 1799/1825), o grande desafio da Mecânica Celeste se referia à elaboração de uma teoria dos planetas que contemplasse o conjunto das perturbações mútuas no Sistema Solar.

Em meados do século XIX, Urbain Le Verrier se dedicaria, de 1840 a 1877, a essa tarefa, analisando as observações dos planetas, determinando suas massas e seus elementos, e calculando e revisando suas tabelas[123]. Com exceção do movimento de Mercúrio, a tarefa de Le Verrier sobre os movimentos dos demais planetas representaria um extraordinário avanço nas investigações sobre o movimento orbital e informações gerais sobre os planetas. Dentre seus muitos escritos, devem ser mencionados: *Memória sobre a determinação das desigualdades seculares dos planetas* (1841), *Teoria do movimento de Mercúrio* (1845), *Sobre o planeta que produz as anomalias observadas no movimento de Urano. Determinação de sua massa, de sua órbita e de sua posição atual* (1846), *Memória sobre as variações seculares dos elementos das órbitas para os sete principais planetas* (1847), *Exame sobre a discussão na Academia de Ciências a propósito da descoberta da atração universal* (1869).

No final do século, o astrônomo americano Simon Newcomb (1835-1909) examinaria o movimento dos quatro primeiros planetas,

[123] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

estudando mais de seis mil observações astronômicas. Numa série de artigos de 1879, Newcomb afirmava seu objetivo de dar uma "sistemática determinação das constantes da Astronomia a partir dos melhores dados disponíveis, uma nova investigação das teorias dos movimentos celestes e a preparação de tabelas, fórmulas e preceitos para a construção de efemérides e para outras aplicações". Em 1895, publicaria seu trabalho com o título de *Os elementos dos quatro planetas interiores e as constantes fundamentais da Astronomia*, o qual serviria de modelo para pesquisas posteriores e para a adoção dos valores convencionais das constantes fundamentais, ainda em vigor[124]. As tabelas para Júpiter, Saturno, Urano e Netuno foram utilizadas, até 1959, para o cálculo diário da posição desses astros, e, além dessa data, para o Sol, Mercúrio, Vênus e Marte. O movimento do periélio de Mercúrio continuaria, contudo, sem explicação, buscando os astrônomos um corpo celeste perturbador em suas imediações, que pudesse justificar sua órbita; o movimento orbital de Mercúrio só viria a ser explicado no século XX, com a Teoria da Relatividade, de Einstein, pela qual não se podem observar os movimentos absolutos, mas apenas os relativos[125].

A questão do movimento da Lua foi outro difícil desafio enfrentado pelos matemáticos e astrônomos (Damoiseau, Delaunay, Hansen). O astrônomo americano George William Hill (1838-1914) estudaria o movimento da Lua em função da ação de outros planetas e elaboraria, em 1878, a famosa "Equação de Hill", na qual usou, pela primeira vez, um sistema infinito de equações lineares; com esse artifício, Hill demonstrou que o movimento do perigeu da Lua era periódico[126]. A questão da aceleração secular da Lua (calculada por Laplace em 10" e por Hansen em 11,47" por século) foi resolvida pelo matemático e astrônomo inglês John Couch Adams, com o valor teórico de 5,70", confirmado, depois, por Delaunay, Cayley e Hansen.

Os avanços na Mecânica Celeste, no século XIX, não se limitaram, contudo, aos cálculos das órbitas de planetas, satélites, asteroides e cometas, a algumas descobertas de corpos celestes com base em cálculos matemáticos, ou a algumas informações de ordem geral sobre os astros. A Mecânica Celeste teórica se beneficiaria, igualmente, do extraordinário desenvolvimento e aplicação da pesquisa matemática. Nesse sentido, foram importantes as contribuições, entre outras, de matemáticos como Gauss, Möbius, Jacobi, Hamilton, Tisserand e Poincaré[127].

Assim, cabe citar os trabalhos de Gauss em *Theoria motus corporum coelestium* (1809), com seu método dos mínimos quadrados e ensaios sobre

---

[124] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[125] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy*.
[126] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*
[127] TATON, René. La Science Contemporaine.

atração de elipsoides gerais (1813) e sobre perturbações seculares (1818); de William R Hamilton, sobre "Equações canônicas" (1834); de August Möbius, com *Princípios de Astronomia* (1836) e *Elementos da Mecânica Celeste* (1843); de Karl Jacobi, sobre o sistema de equações diferenciais para o problema dos três corpos (1844); de Felix Tissérand (1845-1896), em *Tratado de Mecânica Celeste* (1889); e de Henri Poincaré (1854-1912), em *Sobre os problemas dos três corpos e as equações da Dinâmica* (1889) e *Os Métodos Novos da Mecânica Celeste* (1892/99).

6.19.3. Astronomia Física

A Astronomia física teria um extraordinário desenvolvimento na segunda metade do século XIX, em grande parte devido aos grandes avanços na Física teórica e aplicada, em particular nos ramos da Óptica e do Eletromagnetismo. As novas técnicas de pesquisa, pela utilização de métodos e instrumentos desenvolvidos ao longo do século, permitiriam alargar e aprofundar o conhecimento astronômico, ampliar o âmbito da Astronomia ao recorrer às Leis da Física para a interpretação dos dados obtidos e melhorar a qualidade da informação pesquisada. A Espectroscopia, a Fotografia e a Fotometria, ao viabilizarem a medição e a análise do espectro da luz solar, que é uma radiação eletromagnética, estariam no centro dessa verdadeira revolução no entendimento humano do Universo.

Por isso, muitos autores consideram a Astrofísica um novo ramo da Física. Os pesquisadores que utilizam esse método para estudar os corpos celestes são chamados, hoje em dia, de "astrofísicos", e não astrônomos, em reforço à tese de que se trata de uma atividade muito específica de pesquisa laboratorial. A importância e o interesse pela Astrofísica justificariam a fundação, em 1895, da *Astrophysical Journal*, pelo astrônomo americano George Ellery Hale (1868-1938).

A pesquisa astronômica não se limitaria mais a estabelecer distâncias (Astrometria) e movimentos no Sistema Solar (Mecânica Celeste), mas a procurar estabelecer a constituição física e a composição química dos astros. Em função desse avanço científico e tecnológico, foi possível empreender pesquisas pioneiras sobre o sistema estelar, que passaria a despertar grande interesse na comunidade astronômica.

6.19.3.1 Astrofísica

A Astrofísica é o ramo da Astronomia dedicado ao estudo da constituição física e da composição química dos corpos celestes. A Astrofísica estuda os planetas (constituição interna, atmosfera, temperatura), o Sol e suas influências no sistema planetário e as estrelas e demais corpos celestes. Diretamente decorrente da aplicação da técnica da espectroscopia, a Astrofísica viria a se constituir no mais poderoso fator de desenvolvimento da Astronomia.

O método de análise espectral, descoberta de Kirchhoff/Bunsen, anunciado, pelo primeiro, na Academia de Ciências de Berlim, em 1859, seria logo utilizado pelos astrônomos em suas investigações dos corpos celestes, dando início, portanto, à Astrofísica[128].

Nos estudos pioneiros do século XIX, dez investigadores, incluindo o próprio Gustav Kirchhoff (1824-1887), merecem uma referência especial: o sueco Anders Jonas Ångström (1814-1874), o inglês William Huggins (1824-1910), o jesuíta italiano Pietro Macedonio Secchi (1818-1878) e Giovanni Donati (1826-1873), o francês Pierre Jules Janssen (1824-1907), os americanos Jonathan Lane (1819-1880), Lewis Morris Rutherford (1816-1892) e Edward Charles Pickering (1846-1919) e o alemão Hermann Karl Vogel (1842-1907).

O físico Ångström, do Observatório de Uppsala, foi um pioneiro da Análise espectral, tendo deduzido, em 1853, da teoria da ressonância de Euler, o princípio de que o gás incandescente emite raios da mesma refrangibilidade daqueles que absorve. De seus estudos sobre o espectro solar, anunciaria, em 1862, a presença de hidrogênio na atmosfera solar, e, em 1868, elaborou um grande mapa do espectro solar. Foi o primeiro, em 1867, a examinar o espectro da aurora boreal e a detectar e medir sua característica linha brilhante na região amarelo-esverdeada[129].

A Análise espectral do Sol despertou grande interesse desde o início da utilização desta técnica na Astronomia. No espectro do Sol, há cerca de 22 mil raias escuras que possibilitaram descobrir a composição química de seu imenso invólucro gasoso. Kirchhoff identificou, no espectro do Sol, o sódio, o cálcio, o magnésio e o ferro, que se encontram nas partes mais frias do Sol e absorvem, portanto, seletivamente, suas cores espectrais, gerando as linhas escuras observadas por Franhoffer. Essa constatação significou a importante descoberta de que o Sol era composto dos mesmos elementos químicos que a Terra. O éter dos gregos

[128] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[129] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

e de Descartes não existia, mas apenas elementos químicos. Lockyer iniciou, em 1866, o estudo espectroscópico das manchas solares, e dois anos depois, independentemente de Janssen, descobriria um método espectroscópico para observar as proeminências solares, sem a ajuda do eclipse para bloquear a luminosidade do Sol. Em 1868, descobriu Lockyer o elemento "hélio" na atmosfera solar; só mais tarde seria descoberto o éter na atmosfera terrestre[130]. O americano Lane, autor de *Sobre a Temperatura Teórica do Sol* (1870), seria o primeiro a pesquisar, matematicamente, o Sol como um corpo gasoso, tendo demonstrado, em seu trabalho, a inter-relação entre pressão, temperatura e densidade internas do Sol. O americano Rutherford faria pesquisas espectroscópicas do Sol, dos planetas (Saturno e Júpiter) e das estrelas até a 5ª magnitude.

O principal objetivo da pesquisa dos planetas era a constituição de suas atmosferas. Nos anos 70, Huggins, Vogel e Janssen concordavam que o oxigênio e o vapor d'água estavam presentes nas atmosferas de Marte e de Vênus, o que seria confirmado por eles em 1894[131].

No campo específico da pesquisa espectroscópica das estrelas, o astrônomo inglês William Huggins, que construiu (1856) um Observatório particular em Londres, mostrou, em publicação de 1863, que as estrelas eram compostas dos mesmos elementos que o Sol e a Terra, tendo identificado o ferro, o sódio e o cálcio nas estrelas Aldebarã e Betelgeuse, e pouco depois obteve o espectro de vários cometas, identificando a presença de hidrocarbonatos. Em 1868, Huggins mediu a velocidade radial de Sirius, pelo Efeito Doppler/Fizeau, de suas linhas espectrais, demonstrando, assim, que se poderia extrair muito mais que a temperatura ou a composição química do estudo dos espectros. Além de teorizar sobre a evolução das estrelas, fundou, em 1869, a prestigiosa revista científica *Nature*, e, em 1900, foi eleito Presidente da Sociedade Real. Foi Huggins, também, o primeiro a fotografar o espectro estelar. O astrônomo italiano Donati determinou, pela espectroscopia, a composição gasosa dos cometas (1864).

Importante contribuição deve ser creditada ao jesuíta Secchi, professor de Astronomia e diretor do Observatório Romano, fundador da Espectroscopia estelar. De 1863 a 1868, estudou cerca de 400 estrelas, elaborando o primeiro mapa do espectro das estrelas e classificando-as (1864) em quatro classes, de acordo com a cor de suas superfícies[132], brancas, como Sirius; amarelas, como o Sol; vermelhas, como a Betelgeuse;

[130] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[131] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*
[132] VERDET, Jean Pierre. *Uma História da Astronomia.*

e vermelhas fracas. Vogel proporia, em 1874, revisto em 1895, um sistema de classificação estelar, baseado no trabalho de Secchi.

A classificação espectral das estrelas pela cor, de Secchi, seria superada, mais tarde, pela do astrônomo americano Edward Pickering (1846-1919), professor de Física do MIT, depois professor de Astronomia na Universidade de Harvard, e fundador do Observatório de Arequipa, no Peru, e que, em 1882, aperfeiçoou a espectroscopia, ao colocar um grande prisma na frente da objetiva, pelo que cada estrela no campo fotografado era representada não por um ponto nítido, mas um delgado espectro. Com esta nova técnica foi possível criar o célebre *Catálogo Henry Drape* (1918/1924), da Universidade de Harvard, com o tipo espectral de 225.300 estrelas, organizado pela astrônoma Annie Jump Cannon (1863-1941), integrante da famosa equipe feminina de pesquisadoras de Harvard, escolhida por Pickering.

A nova classificação espectral das estrelas se basearia na temperatura de superfície em dez tipos O, B, A, F, G, K, M, R, N e S, série decorada mediante recurso mnemônico baseado na frase: "Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me Right Now, Sweet". Cada tipo é subdividido em 10 subtipos (A0, A1, A2... A9). A classificação de Harvard vai de 30.000°C (tipo O) a 3.000 /2.000°C. O Sol, com temperatura de 6.000°C, é do tipo G1.

Deve ser acrescentado, contudo, que, anteriormente, em 1897, Antonia Caetana Maury (1866-1952), da equipe da Universidade de Harvard, publicou um catálogo *Spectra of Bright Stars photographed...*, cuja classificação proposta para as estrelas foi recusada por Pickering.

6.19.3.2 Astronomia Estelar

A principal atividade da pesquisa astronômica passou do Sistema Solar para o Estelar no século XIX[133]. Os estudos anteriores, centralizados na determinação de suas posições, tinham o objetivo principal de fornecer a base para cálculo dos movimentos dos planetas, até mesmo a observação telescópica do "firmamento", era feita com o intuito de descobrir pequenos corpos celestes.

No século XVII (1638), foi descoberta uma estrela, a Mira Ceti, que apresentava uma sensível variação periódica de brilho; em 1843, já era conhecida uma quinzena dessas chamadas "estrelas variáveis", quando Friedrich Argelander iniciou, com seu conhecimento de fotometria, seu estudo sistemático, estabelecendo, inclusive, os princípios dessa

[133] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy*.

pesquisa. Ao final do século, já haviam sido descobertas, com a ajuda da fotometria visual direta, várias centenas de estrelas variáveis que apresentavam diferentes períodos (de vários meses a algumas horas) de variação luminosa.

Dentre as estrelas variáveis, se encontram as chamadas estrelas duplas ou binárias que se constituem num sistema físico. O termo "estrela dupla" foi cunhado por Ptolomeu em sua descrição da estrela Sagitário. O centro de gravidade do sistema binário apresenta um movimento retilíneo e uniforme, cada estrela do sistema tem um movimento próprio, composto do movimento retilíneo e de seu próprio movimento orbital em torno de seu centro de gravidade. A complexidade desse movimento dificultaria, por muito tempo, o trabalho dos pesquisadores.

No século XVII, foi observada, com a luneta, a estrela dupla Mizar da constelação da Ursa Maior, por Giovanni Riccioli, em 1651; o sistema Orion foi descoberto por Christiaan Huygens, em 1656; e o padre Richaud detectou a Centauro. No século XVIII, a estrela dupla Virgem foi descoberta, acidentalmente, por James Bradley, em 1718. O primeiro astrônomo a demonstrar real interesse pelas estrelas duplas e a proceder a importantes estudos foi Friedrich Wilhelm Herschel, que publicaria lista com mais de uma centena dessas estrelas. Foi o primeiro, em 1803, a estabelecer, aproximadamente, o movimento relativo de cerca de 50 binárias, mas o astrônomo francês Félix Savary (1797-1841) seria o pioneiro a calcular, em 1829, a órbita da estrela dupla da Ursa Maior. Dois anos depois, John Herschel, do Observatório do Cabo, estabeleceria os princípios para a determinação, de maneira geral, das órbitas de tais estrelas[134], tendo sido publicado, postumamente, seu *Catálogo Geral de 10.300 Estrelas Múltiplas e Duplas*.

O estudo moderno das estrelas binárias teve início com Friedrich Georg Struve (1793-1864), diretor do Observatório da Universidade de Dorpat (Estônia), que, equipado de um telescópio refrator com abertura de 24 cm, considerado o melhor telescópio da época, procedeu a um levantamento de 120 mil estrelas do Polo Norte até a declinação de 15° Sul, tendo detectado e medido 3.112 binárias, das quais mais de 75% eram, até então, desconhecidas. Sobre suas investigações e descobertas, publicaria Struve, em 1837, o catálogo *Stellarum Duplicium Mensurae Micrometricae*.

Em 1844, Bessel descobriu, utilizando um heliômetro, que as estrelas Sirius e Prócion apresentavam um pequeno movimento, o qual deveria ser resultado do efeito gravitacional de outros corpos celestes, não identificados, que lhes eram vizinhos. A órbita exata de Sirius foi

[134] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

determinada por Christian Peters (1815-1883), em 1851, e sua estrela vizinha, conhecida como Sirius B (8ª magnitude), foi observada por Alvan Clark (1832-1897), em 1862. Quanto à estrela Prócion, cuja órbita fora calculada por Georg Auwers (1838-1915), em 1862, somente em 1895 seria descoberta sua estrela-vizinha (13ª magnitude), por John Schaeberle (1853-1924)[135].

John Herschel (1792-1871), Johann Madler (1794-1874), William Rutter Dawes (1799-1868), Otto Struve (1819-1905), Jaroslav Dombrowski (1838-1871) e Sherburne Burnham (1838-1921) deram importantes contribuições para a descoberta e o conhecimento das órbitas de milhares de estrelas binárias.

Hermann Vogel (1841-1907), diretor de Observatório particular em Bothkamp, dedicou-se ao estudo da espectroscopia planetária, sendo autor de *Espectro dos Planetas*, de 1874, quando passou a trabalhar no Observatório Astrofísico de Potsdam, tornando-se seu diretor em 1882. Em 1887, iniciou um programa de medição espectroscópica das estrelas, introduzindo o uso da fotografia nessas pesquisas. Descobriu que a estrela Algol era acompanhada de uma companheira escura (do tamanho aproximado do Sol), causando perturbações regulares e periódicas em sua luminosidade. Tratava-se da descoberta das chamadas "binárias espectroscópicas"[136] (Espiga da Virgem e Algol da Perseu), sistema de duas estrelas tão próximas uma da outra que não podem ser identificadas pelo telescópio, mas apenas pela Análise de suas radiações luminosas.

Em 1889, Antonia Caetana Maury descobriria as binárias espectroscópicas Ursa Maior, de linha K, e Auriga, pela fotografia do espectro estelar.

A insuficiência e imprecisão da observação telescópica e as poucas informações disponíveis sobre as nebulosas motivaram, ao longo dos séculos, grande especulação sobre sua constituição e composição. No século XVII, o astrônomo alemão Simon Marius observou a nebulosa Andrômeda (1612), e Christian Huygens, em 1656, a Orion, duas das mais famosas nebulosas até hoje estudadas. No século XVIII, Charles Messier (1730-1817), célebre "caçador de cometas", registrou, em 1771, 45 nebulosas (do latim *nebula*, que significa nuvem), que dificultavam suas observações dos cometas. Messier daria às nebulosas uma ordem numérica, precedida do M de seu nome, vindo, portanto, a serem conhecidas como M1, M2, M3, etc. Pouco depois, em 1784, publicaria seu catálogo, com um total

---

[135] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*
[136] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

de 103 nebulosas[137]. Posteriormente, verificou-se que algumas nebulosas eram, na realidade, galáxias e aglomerados de estrelas. Pierre Méchain (1744-1804) registrou, em 1786, seis nebulosas, tendo Caroline Herschel, irmã de Friedrich Wilhelm, observado três nebulosas em 1783. Friedrich Herschel, em 1787, detectou a nebulosa Esquimó, o que o faria adotar a teoria de que as nebulosas contavam com uma estrela central envolvida por um "fluido luminoso". Outras nebulosas, como a de Anel (1779), de Saturno (1782) e Olho de Gato (1786), seriam observadas, mas o conhecimento sobre tais corpos celestes era superficial, pois se limitava ao que pudesse ser visto através do telescópio.

Prosseguiriam, no século XIX, as pesquisas sobre as nebulosas, devendo-se notar a contribuição de William Parsons, Lord Rosse (1800-1867), que, com um telescópio refletor de espelho de 182 cm de diâmetro, foi capaz de observá-las, concluindo possuírem uma estrutura espiral. Rosse, em 1848, deu o nome de Nebulosa do Caranguejo à M1, do catálogo de Messier.

O advento da técnica da espectroscopia permitiria um grande avanço nesses estudos. William Huggins publicaria, em 1864, trabalho sobre o espectro das nebulosas com base em suas pesquisas da nebulosa planetária Draco[138]. Ao observar que o espectro nebular era do tipo de raias brilhantes (espectro de emissão), em vez do espectro de linhas escuras (espectro de absorção), concluiria Huggins que as grandes nebulosas, como Orion, eram constituídas de um gás luminoso. Ao observar Andrômeda, percebera que se tratava de espectro do tipo estelar, pelo que concluiria tratar-se de uma nebulosa composta de estrelas.

O uso cada vez mais corrente da espectroscopia e da fotografia na Astrofísica seria um fator de grande relevância para o progresso nessas pesquisas, que avançariam de forma extraordinária, no século XX.

6.19.4 Cosmogonia/Cosmologia

Um traço comum das diversas Civilizações, quaisquer que tenham sido suas localizações geográficas (Ásia, África, Américas, Oriente Médio e Europa), ou seus períodos de desenvolvimento cultural, foi a elaboração de cosmogonias e cosmologias, de inspiração teológica ou metafísica, que explicassem a criação do Universo, sua história, sua estrutura e sua dinâmica. Em muitos casos, tratava-se de explicação de origem divina,

[137] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*
[138] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*

por conseguinte, aceita sem discussão e questionamento. Para o Mundo ocidental, a Cosmogonia mais influente seria a do *Gênese*, porquanto determinaria as concepções mais influentes da "criação" e da estrutura do Universo na cultura judaico-cristã.

Durante o século XIX, a teoria da nebulosa de Laplace gozaria de grande prestígio nos meios intelectuais e científicos, sem afetar, contudo, a aceitação generalizada de uma "causa primeira" para o início de qualquer processo evolutivo do Cosmos. Independentemente de qualquer nova teoria, permaneceria o apoio, quase unânime, da opinião pública, em favor da tradicional explicação, teológica ou metafísica, da criação do Universo. A Mecânica Celeste e a nascente Astrofísica ampliavam o conhecimento do Cosmos, inclusive seu funcionamento, mas não invalidavam, necessariamente, a crença na criação divina.

Apesar dessa majoritária convicção, o contexto intelectual, principalmente a partir da segunda metade do século XIX, favoreceria o reexame dos grandes temas científicos sob uma nova óptica. Os debates sobre a idade da Terra; os avanços nas descobertas geológicas, arqueológicas e paleontológicas; as repercussões e as implicações da "Origem das Espécies", de Charles Darwin; o extraordinário desenvolvimento do conhecimento do Sistema Solar e da Via Láctea; e a crescente penetração de um espírito científico nos meios intelectuais seriam, assim, fatores decisivos para um amplo exame e nova visão da evolução do Universo.

Nenhuma Cosmogonia ou teoria cosmológica seria formulada no século XIX, limitando-se os astrônomos ao estudo da teoria de Pierre Siméon Laplace (174-1827), com o intuito de verificar sua fundamentação científica. A ampliação do conhecimento sobre as nebulosas, inclusive com o recurso da espectroscopia e da fotografia, não seria suficiente, no entanto, para uma comprovação dessa teoria. O assunto seria de grande interesse desde o início do século XX, quando novas teorias seriam elaboradas e ganhariam generalizado apoio da comunidade científica.

O modelo cosmológico, heliocêntrico, submetido às Leis da Mecânica Celeste, se tornaria mais complexo com as novas descobertas astronômicas, as quais ampliaram os limites do Universo além do Sistema Solar para o espaço sideral e reafirmaram a validade dos princípios dos movimentos dos corpos celestes. Nesse sentido, além da contribuição das novas técnicas e métodos de análise para a expansão do conhecimento do Cosmos, deve ser ressaltado o papel decisivo da Matemática e da Física no campo da Cosmologia, que, no século XX, teria um extraordinário desenvolvimento.

6.20 Física

A convicção da comunidade científica de que se tinha alcançado um patamar de conhecimentos, que, praticamente, esgotava o campo da Física para novos e importantes avanços, é um indício do progresso realizado no período. Dessa forma, ao final do século XIX, quando os fenômenos magnéticos, elétricos e ópticos estavam unificados numa teoria, a maioria dos físicos acreditava que seria possível, em breve, chegar a uma explicação de todos os fenômenos naturais, por meio de uma só teoria fundamental ou de um princípio unificador. Essa meta não seria alcançada, mas a ideia não seria abandonada, perdurando, portanto, como um objetivo factível e válido para grande número dos físicos dos séculos XX e XXI.

Tanto na Física pura quanto na aplicada era evidente o sucesso das investigações, cuja imediata aplicação em benefício da sociedade se traduziria no seu crescente apoio e confiança na Ciência, em geral, e na Física, em particular. Recursos públicos e privados foram canalizados para financiamento de pesquisas; universidades e centros de pesquisas gozavam de grande prestígio; entidades científicas e publicações especializadas seriam fundadas; e exposições industriais se realizariam, em diversos países, com a mostra das últimas invenções. O trabalho do cientista (termo criado pelo erudito inglês William Whewell) seria respeitado e admirado, merecendo apoio e reconhecimento da parte dos governos, das empresas e do público.

No terreno da Física teórica, o notável desenvolvimento ocorrido deve ser explicado em função da crescente afirmação de um espírito científico, investigativo, quantitativo, orientador da pesquisa. Ainda que progressos importantes tenham ocorrido nos seus vários ramos, deve-se registrar o grande interesse suscitado pelos fenômenos do calor, da luz e da eletricidade, cujos estudos permitiriam a formulação de leis e princípios, e a formação de novos ramos científicos. No final do período, um novo setor, decorrente da descoberta da radioatividade e dos raios X, se abriria para pesquisas, contribuindo para a comprovação e aceitação da Física Nuclear no século XX. No desenvolvimento de suas diversas disciplinas, a Física se enriqueceria com a elaboração de novos conceitos que abririam perspectivas para futuros avanços nas pesquisas.

Desse processo participaria um significativo número de cientistas, cujos trabalhos foram fundamentais à História da Física do século XIX. Vários desses físicos se notabilizariam, igualmente, por terem inventado ou aperfeiçoado instrumentos e aparelhos de grande importância para o

desenvolvimento de suas pesquisas e de grande impacto para o futuro da indústria, como Volta, Fresnel, Arago, Faraday, Foucault, Fizeau, Michelson, Sturgeon, Hertz, Röentgen e Lord Kelvin.

No terreno da Física aplicada, os ramos do Eletromagnetismo e da Termodinâmica, em especial, viabilizando o extraordinário desenvolvimento das energias elétrica e térmica, contribuiriam, de forma decisiva, para a grande transformação do panorama social e econômico do período. Havia consciência de que os novos padrões de vida eram, em boa parte, devidos à Ciência, que poderia, portanto, ser altamente benéfica, ao ser posta a serviço da Humanidade. A afluente classe média seria um formidável mercado para os novos produtos (fonógrafo, telégrafo, telefone, automóvel, fotografia, bicicleta, lâmpada incandescente) de uma diversificada indústria (fibras sintéticas, plástico, trem ferroviário, dínamo, bateria elétrica, refrigeração, cimento portland, elevador, máquina de escrever, máquina de costura, ligas metálicas, armamentos). O mercado se desenvolveria num ritmo que mereceu a denominação de Segunda Revolução Industrial, e o comércio varejista e o atacado se expandiria com o aumento das transações. A Medicina se beneficiaria com a descoberta dos raios-X e com as pesquisas, entre outras, nos campos da Acústica e da Óptica, enquanto a Agricultura se renovaria com a introdução de novas máquinas e implementos.

No desenvolvimento da Física aplicada, um número também bastante elevado de engenheiros, técnicos e inventores seria responsável pelas inovações e aperfeiçoamentos das máquinas, equipamentos e instrumentos de grande impacto, tanto em sua aplicação na Ciência quanto na sua utilização industrial. Vários nomes de engenheiros e técnicos merecem ser mencionados, por suas contribuições: John Stevens, George Stephenson, Joseph Niepce, Louis Daguerre, J. J. Lister, Samuel Morse, Joseph Henry, William Talbot, Charles Goodyear, Gail Borden, Elisha Otis, Henry Bessemer, Heinrich Geissler, Elias Howe, Robert Thomson, Jean Baptiste Lenoir, William Siemens, Nikolaus Otto, Gottlieb Daimler, Ferdinand Zeppelin, Thomas Edison, Louis e Auguste Lumière, Alexander Graham Bell, David Hughes, Otto Lilienthal, George Eastman, Karl Benz, Rudolf Diesel, George Westinghouse, Charles Parsons, Zenobe Gramme, Nikola Tesla, Henry Ford, Guglielmo Marconi.

No início do século, França e Grã-Bretanha continuavam na liderança mundial nos estudos e nas pesquisas da Física, em seus diversos domínios. Outros países, como reinos da Itália e da Alemanha, Países Baixos, Áustria, Dinamarca e Rússia acompanhavam os progressos nas investigações, mas não dispunham, ainda, de uma infraestrutura de

pesquisa, de uma base industrial e de recursos financeiros capazes de criar as condições favoráveis para competir com as duas grandes potências. A partir de meados do século, quando tais países se beneficiariam e participariam da Segunda Revolução Industrial, e estabeleceriam melhores condições de pesquisa, as atividades científicas se desenvolveriam a um ritmo acelerado, sem ameaçar, contudo, a liderança franco-britânica. A única exceção seria a Alemanha que, após sua reunificação, demonstraria ter alcançado o nível dos estudos da Física pura e da Física experimental daqueles dois países, e que, ao final do século XIX, se transformaria no centro mais importante e mais avançado no terreno da Física.

Pode-se considerar como tendo sido irrelevante a contribuição para a Física teórica dos países fora do Continente europeu, com exceção dos EUA principalmente pela contribuição de Josiah Willard Gibbs na área da Mecânica Estatística. Deve-se notar, contudo, a valiosa e extraordinária participação dos Estados Unidos da América no campo da Física aplicada, por meio de seus engenheiros e inventores.

O grande interesse despertado pela Física nos meios governamentais e intelectuais e no grande público seria um fator importante para a proliferação de instituições especializadas, públicas e privadas, de pesquisa, e de sociedades e associações para a divulgação da evolução dos estudos nos diversos domínios da Ciência. Laboratórios, inclusive em empresas industriais, seriam criados, dando uma nova dimensão e perspectivas às investigações. Revistas e publicações científicas circulariam em número crescente, ao mesmo tempo em que as universidades prestigiavam o ensino e a pesquisa. Esse ambiente favorável incentivaria a outorga de prêmios, de honrarias e de prestígio aos pesquisadores.

A grande atividade científica desenvolvida no campo da Física ao longo do século teria desdobramentos fundamentais na evolução do tratamento dos fenômenos físicos, a ponto de estarem criadas, ao final do período, as condições para uma reavaliação dos fundamentos da Física, ocorrida já nos primeiros anos do século XX.

Para muitos autores contemporâneos, a Física do século XIX pertenceria ainda à chamada Física clássica, pois seu desenvolvimento sucedera de acordo com os princípios e postulados do século XVII, segundo a chamada Mecânica newtoniana. A inaplicabilidade da dinâmica newtoniana ao movimento das partículas extremamente pequenas, como as subatômicas, determinaria o desenvolvimento de uma nova Mecânica que pudesse explicar os fenômenos que ocorriam em escala tão pequena. Em consequência, os antigos conceitos visuais e intuitivos, como os de velocidade, posição e força, cuja expressão matemática lhes dera certa

precisão, viriam a ser contestados, e, eventualmente, substituídos, no século XX, por uma Física baseada em conceitos mais abstratos. A exemplo da Matemática, que no século XIX entraria numa fase mais formal e de rigor de análise, em prejuízo de sua tradição intuitiva e de senso comum, a Física também recorreria à forma matemática das noções físicas e das leis, ainda que contrária aos sentidos, em detrimento de qualquer outra forma de explicação. O rigor experimental passou a ser uma exigência da comunidade científica.

De acordo com esse critério, o que se considera, atualmente, como Física moderna nasceria nos primeiros anos do século XX, com a Mecânica quântica, iniciada com a hipótese quântica de Planck, a Teoria da Relatividade de Einstein, e a Física nuclear, iniciada com os modelos de Rutherford e Bohr.

A divisão de qualquer Ciência em domínios ou ramos tem, necessariamente, uma dose de arbítrio, ainda que vários critérios possam ser adotados. Tendo presente o grau de desenvolvimento do estudo dos diversos fenômenos, o tradicional âmbito da Física clássica e a amplitude das pesquisas nos campos da eletricidade e da energia, o exame da evolução da Física no século XIX será desdobrado em quatro áreas: Acústica, Óptica, Eletrologia e Termologia (inclusive Termodinâmica), e mais duas, uma quanto aos avanços nas pesquisas sobre o Átomo, e outra, sobre a descoberta da Radioatividade, no final do século XIX. Se bem que enunciada em 1900, a Teoria Quântica, de Max Planck, será tratada no capítulo referente à Física Moderna do século XX, na qual ocupa uma posição central.

6.20.1 Acústica

O interesse pelo estudo teórico e pela investigação experimental no campo da Acústica prosseguiria ao longo do século XIX. As grandes questões (emissão, propagação, velocidade, densidade, tensão), objeto de pesquisas no século anterior, continuariam a merecer uma atenção prioritária da parte de matemáticos e físicos. A aplicação dos conhecimentos teóricos adquiridos por técnicos e engenheiros resultaria em grande avanço, no final do período, na invenção de aparelhos e instrumentos de transmissão e reprodução do som, dando, assim, uma nova dimensão aos estudos e experiências no campo da Acústica. Exemplos são as invenções do fonógrafo, de Thomas Edison (1847-1931), do telefone, de Graham Bell (1847-1922), e do microfone, de David Hughes (1831-1900).

O engenheiro dinamarquês Valdemar Poulsen (1869-1942) faria, em 1890, as primeiras experiências de gravação de som em suporte magnético. O primeiro instrumento acústico, fora os instrumentos musicais, teria sido o estetoscópio, inventado em 1819, pelo médico francês René Laënnec (1781-1826).

Sabido, desde o século anterior, que o som não se propagava no vácuo, e que sua velocidade variava de acordo com o meio, continuaria a experimentação na atmosfera, no líquido e no sólido com vistas a determinar as condições e as particularidades da propagação e a velocidade do som.

Na atmosfera, caberia citar as experiências de François Arago (1786-1853) e de Gaspard Prony (1755-1839), em 1822, quando apuraram uma velocidade do som de 331,2 metros por segundo, para uma de 332,2 m/s calculada por uma Comissão holandesa, em Amsterdã, na mesma época[139]. No ano seguinte, Siméon Poisson (1781-1840) apresentaria sua teoria da propagação sonora no ar, no interior de um tubo, e trataria do fenômeno da "onda estacionária". Em 1825, Laplace, em sua *Mecânica Celeste*, estabeleceria a relação entre densidade e pressão, de maneira a corrigir pequenas amplitudes de perturbação na propagação do som. Laplace corrigiria a fórmula de Newton para a velocidade do som, mostrando que a propagação no ar era um processo adiabático (isto é, sem troca térmica com o exterior), e não isotérmico, e, portanto, a variação volumétrica relativa $\Delta V/V$ deveria ser multiplicada pela relação entre os calores específicos à pressão e a volume constantes, respectivamente. Em 1857, George Gabriel Stokes (1819-1903) registrou, pela primeira vez, o efeito do vento na propagação sonora.

A teoria da onda estacionária, de Poisson, seria estudada e aperfeiçoada, em 1860, pelo biólogo, matemático e físico alemão Herman von Helmholtz (1821-1894), e, em 1868, August Kundt (1839-1894) faria experiência com a colocação de pó dentro dos tubos (Tubo de Kundt), o qual se acumularia na zona dos nodos.

A investigação da velocidade do som no meio líquido, em 1828, por Daniel Colladon (1802-1893) e Jacques Charles François Sturm (1803-1855), no Lago de Genebra, determinaria uma velocidade de 1.435 metros por segundo a uma temperatura de 8° C. Em 1759, Leonhard Euler (1707-1783) deduzira a "Equação da Onda", unidimensional, da propagação sonora nos fluidos, e, em 1820, Siméon Poisson deduziria a propagação tridimensional sonora em fluidos. Pouco depois, o complexo problema da reflexão e refração de ondas sonoras planas, incidindo obliquamente na superfície de separação de dois fluidos, seria resolvido,

139 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

em 1838, pelo matemático inglês George Green (1793-1841). Os efeitos da viscosidade na propagação do som foram pesquisados por Claude Louis Navier (1785-1836), em 1833, e por George Stokes (1819-1903), em 1845, do que resultaria numa equação de relações constitutivas do fluido, conhecida como Equação Navier-Stokes.

No meio sólido, as primeiras experiências sobre a velocidade do som foram efetuadas em 1808, por Jean Baptiste Biot (1774-1862), utilizando um cano de ferro com 1 km de comprimento. Comparando o tempo de chegada do som através do ferro e através do ar, Biot concluiu que a velocidade do som no ferro era 10,5 vezes superior à velocidade no ar[140]. A questão da vibração no sólido seria estudada por Laplace (1817) e Poisson (1819) que estabeleceram a teoria das vibrações longitudinais numa barra, e por Sophie Germain (1776-1831) que tratou, matematicamente, das vibrações em placas, motivada pelas famosas "figuras de Chladni". Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), em 1850, aperfeiçoaria a teoria de Sophie Germain. A resolução do problema relacionado com as vibrações em superfícies elásticas seria encontrada em 1862, por Rudolf Clebsch (1833-1872).

De grande importância na evolução dos estudos sobre Acústica foi a descoberta, em 1842, pelo físico austríaco Christian Johann Doppler (1803-1853), do princípio conhecido como Efeito Doppler, da alteração da altura do som em função do movimento relativo da fonte e do receptor, ou seja, o comprimento observado da onda, se a fonte estiver em movimento, será diferente daquele observado se a fonte estiver estacionária[141].

O físico francês Jules Antoine Lissajous (1822-1880) apresentaria à Academia de Ciências, em 1855, o resultado de suas experiências sobre a superposição de vibrações acústicas, e, em 1873, descreveu o "fonoptômetro", um microscópio com um diapasão preso à sua objetiva para estudar os movimentos periódicos e contínuos.

A partir de meados do século, a comunidade científica passaria a estudar o fenômeno do som em função da percepção do sistema auditivo humano. Em 1843, Georg Simon Ohm (1789-1854) estabeleceria que a sensação de altura de sons musicais é proporcional à frequência fundamental do som, e o timbre, a diferentes combinações da intensidade dos harmônicos. Com este estudo, Ohm iniciaria o ramo da "Psicoacústica". Em 1860, Gustav Fechner (1801-1884) publicaria *Elementos de Psicofísica*, no qual estabeleceria que, enquanto o estímulo aumenta multiplicativamente, a sensação aumenta aditivamente.

[140] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*
[141] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

Ainda que inexata, a conclusão de Fechner serviria de base, no século XX, para Harvey Flecher estabelecer o conceito de "Unidade de Sensação Auditiva". Em 1862, Helmholtz publicaria *Sensações do Som*, no qual apoiaria as conclusões dos estudos de Ohm, considerando que o ouvido humano possui várias câmaras de ressonância sintonizadas para diferentes frequências, efetuando, assim, uma análise espectral. Outra importante contribuição de Helmholtz seria a do aperfeiçoamento da teoria das ondas estacionárias, originalmente elaborada por Poisson[142].

Obra de grande relevância sobre Acústica em geral, no século XIX, se deve a John William Strutt, 3° Barão de Rayleigh (1842-1919), autor de *Teoria do Som*, na qual historia o desenvolvimento científico da Acústica e introduz novos conceitos, como o da Condutividade Acústica de um orifício, de Função de Dissipação, para um sistema sujeito a amortecimento, do Teorema da Reciprocidade Acústica e da Representação Complexa.

6.20.2 Óptica

Durante o século XVIII, predominou a Teoria Corpuscular da Luz, criada por Newton, apesar das críticas de Euler, que se pronunciara a favor da teoria de Huygens, pela qual a luz seria de natureza ondulatória. Dúvidas e questionamentos que pudessem surgir nos meios intelectuais não teriam curso ou maior repercussão, devido à autoridade inconteste do cientista inglês. O interesse, contudo, pela pesquisa dos fenômenos relacionados com a luz, como refração, dupla refração, difração e reflexão, prosseguiria, o que explica o grande avanço, já no início do século XIX, das investigações no campo da Óptica.

O médico inglês Thomas Young (1773-1829), interessado na fisiologia do olho humano, descobriu que o cristalino altera seu raio de curvatura para poder dar nitidez às imagens de objetos colocados em posições diferentes, fenômeno chamado de "acomodação", e que o "astigmatismo" era consequência de irregularidade da curvatura da córnea. Dedicou-se, também, ao estudo da Óptica, cujas investigações iniciariam um processo de reexame da natureza da luz. Em suas experiências (1801-1804), Young descobriria, em 1801, o fenômeno da "interferência", pelo qual dois raios de luz se combinam e se superpõem, e a energia de um raio de luz aumenta e diminui constantemente, enquanto se propaga, como o movimento de uma onda. Concluíra Young, retomando as "experiências dos anéis" de Newton, que a luz era um "fenômeno periódico", uma

[142] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

vibração do éter: compondo-se num mesmo ponto em que dois feixes luminosos podem, interferindo-se, reforçar-se ou enfraquecer-se[143].

Prosseguindo em suas experiências, Young concebeu, em 1804, um dispositivo que comprovaria a interferência de dois feixes luminosos que divergiam de dois orifícios abertos numa placa e que eram iluminados por uma mesma fonte pontual monocromática; as interferências produzidas entre estes dois feixes apareciam na tela numa série de franjas alternadamente escuras e brilhantes, enquanto a luz saída de cada orifício era a única a dar uma iluminação uniforme. Tal constatação confirmava, no entendimento de Young, a teoria ondulatória de Huygens; caso a luz se compusesse de partículas, não ocorreria interferência: dois fluxos de partículas sempre se reforçam, nunca se anulam. Em outras palavras, a natureza ondulatória da luz seria comprovada pela interferência, fenômeno em que a luz superposta à luz pode produzir o escuro, desde que suas fases e frequências guardem entre si determinadas relações numéricas[144]. Ao mesmo tempo, o fenômeno da difração não seria observado no caso do fluxo de partículas, pois, segundo a lei da inércia, partículas não submetidas à ação de uma força se movem em linha reta, não podendo contornar, assim, um obstáculo. A descoberta de Young e a retomada da teoria de Huygens lhe causariam problemas na Inglaterra, pois a teoria de Newton era considerada como inquestionável; a objeção feria os brios nacionais, não sendo admissível, portanto, qualquer crítica à obra de seu maior cientista, principalmente vindo de um inglês. Em vista disso, a partir daí, as investigações avançariam na França, onde também prevalecia a teoria corpuscular de Newton.

Deve ser registrada a pesquisa pioneira de Young sobre a visão das cores que, até então, merecera interpretações empíricas. Nos primeiros anos do século, formularia Young, como hipótese, a primeira explicação científica para a sensibilidade do olho humano a cores. Segundo ele, a retina possui três espécies de células sensíveis, chamadas "cones"; cada uma delas seria responsável pela percepção de uma dada região do espectro luminoso. Essas três regiões seriam o vermelho, o verde e o violeta, cores primárias, que, por combinação, originariam todos os outros tons cromáticos. Esse trabalho seria retomado pelo físico alemão Hermann von Helmholtz, que converteria a hipótese em teoria.

Pouco depois, a Academia de Ciências de Paris ofereceu (1807) um prêmio para a melhor interpretação do fenômeno da dupla refração, descoberto pelo dinamarquês Erasmus Bartholin (1625-1698). O francês

[143] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[144] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

Etienne Louis Malus (1775-1812), interessado em Óptica, constatou, em suas pesquisas, que, ao girar um cristal de espato-da-Islândia apontado para um raio de Sol refletido por uma janela, apenas um raio de luz emergia do cristal, apesar da propriedade desse cristal de provocar o fenômeno da dupla refração. Pesquisas posteriores confirmariam a Malus que esse fenômeno estaria ligado à reflexão dos raios de luz solar sobre o cristal[145]. Concluiria Malus que os dois raios refratados representavam dois polos diferentes de luz, análogos aos polos magnéticos, razão pela qual daria o nome de "luz polarizada" a esse fenômeno que descobrira (1808). Além de ganhar o prêmio (1810), Malus foi eleito para uma cadeira da Academia de Ciências, e publicaria, em 1811, uma *Memória* sobre a teoria da dupla refração da luz em cristais. Como a polarização não podia ser explicada pela teoria de Young, usando ondas longitudinais, a descoberta de Malus parecia reforçar a Teoria Corpuscular da Luz[146].

A descoberta de Malus despertou grande interesse nos meios científicos. Na França, François Arago e Jean Baptiste Biot estudariam o fenômeno; o primeiro, em 1811, investigaria a polarização cromática, quando a luz polarizada atravessa uma fina lâmina de cristal, e Biot pesquisaria a polarizada rotativa, quando a luz polarizada atravessa certas substâncias transparentes. Nessa mesma época, o escocês David Brewster (1781-1868), inventor do caleidoscópio (1819), pesquisaria, com igual sucesso, nas áreas de Arago e Biot, tendo descoberto que, na polarização por reflexão, o raio refletido polarizado é perpendicular ao raio refratado, que também é polarizado (Lei de Brewster).

Desde 1815, trabalhava o físico Augustin Fresnel (1788-1827) com um dispositivo construído por ele mesmo, no fenômeno da difração da luz, tendo obtido várias figuras de interferência. No ano seguinte, Arago apresentaria à Academia de Ciências as experiências de Fresnel, que incluíam a difração da luz em obstáculos, extremidades finas e aberturas em anteparos. O trabalho de Fresnel retomaria o modelo do éter "luminífero" de Huygens, verificaria que a composição dos feixes ordinários e extraordinários da luz não produzia interferência, e suporia, inicialmente, em comparação com o som, que a vibração da luz seria longitudinal, com oscilações ocorrendo ao longo da linha de propagação. Como Huygens, considerou que cada onda de luz fazia surgir pequenas ondas secundárias, cuja maioria seria absorvida na borda de um corpo, e somente algumas permaneciam para dar surgimento a outras. A interferência dessas últimas seria a difração. Fresnel combinara o princípio

[145] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
[146] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

da interferência de Young e o princípio de Huygens para a construção de frentes de ondas, princípio conhecido como "Princípio Huygens-Fresnel", pelo qual a amplitude da onda luminosa que passa por uma abertura ou um obstáculo é a soma (interferência) de todas as ondas secundárias oriundas da abertura ou do obstáculo[147].

Segundo a Teoria corpuscular, o efeito da refração era causado pela atração gravitacional dos corpos ao passar muito perto de um corpo, mas as experiências levadas a cabo eram, ao menos, inconclusivas. Por outro lado, as explicações de Young para a difração não eram convincentes. Diante do grande debate surgido com as descobertas de Young e de Malus, a Academia de Ciências de Paris patrocinaria, em 1817, um concurso de ensaios matemáticos sobre a difração da luz. Poisson, com o intuito de derrubar a Teoria da difração de Fresnel, havia sugerido que pela teoria deveria existir um "ponto brilhante" no centro da sombra projetada por um pequeno disco circular, o que foi confirmado experimentalmente por Arago. O trabalho de Fresnel, apesar de não estar conforme com as ideias de Laplace, Biot e Poisson, ardorosos defensores da teoria corpuscular da luz, e membros da Comissão Julgadora, receberia (1818) o prêmio da Academia, graças ao apoio do físico e astrônomo François Arago, Presidente da Comissão.

Desde 1816, Arago e Fresnel mantinham contatos, e colaboravam com Young, o qual externou, em cartas, pelo menos em duas ocasiões (1817 e 1818), a hipótese de que a luz poderia propagar-se em onda transversal, o que explicaria polarização na teoria ondulatória. Em 1819, Fresnel e Arago explicariam o resultado de suas experiências de 1816, pelas quais a impossibilidade da interferência entre os raios ordinários e extraordinários, decorrentes da dupla refração, era devido à natureza transversal do raio luminoso[148].

Em 1821, Fresnel apresentaria duas *Memórias* à Academia de Ciências: a primeira, sobre dupla refração observada em cristais uniaxiais e nos cristais biaxiais, e a segunda sobre a dispersão da luz, levando em conta a estrutura molecular da matéria. Em 1827, Fresnel submeteria à Academia de Ciências novos trabalhos sobre dupla refração.

Enquanto se desenvolviam essas pesquisas sobre refração, reflexão e difração da luz, outros aspectos importantes do raio solar viriam a ser estudados. Em 1802, William Hyde Wollaston (1766-1828) apresentou à Sociedade Real o resultado de suas investigações sobre a presença de sete riscas ou raias no espectro solar, sem daí tirar qualquer conclusão[149].

[147] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
[148] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*
[149] GRIBBIN, John. *Science, a History.*

Em 1814, Joseph von Fraunhofer (1787-1826) apresentou à Academia de Ciências de Munique um mapa do espectro solar com uma série de linhas escuras, cujas oito principais ele as distinguiu com letras, de A a K, como A para o vermelho escuro, o D para o amarelo claro e o H para o violeta. Essas linhas são conhecidas como "linhas Fraunhofer". Em 1821, descobriria Fraunhofer o "princípio da rede (grade) de difração", referente à difração da luz através de uma abertura num anteparo em que se observa a figura da difração, e apresentaria à Academia de Ciências de Munique o resultado de suas investigações sobre a determinação dos comprimentos de onda das raias do espectro solar. A partir dos trabalhos de Fraunhofer, se desenvolveria a Espectroscopia, que seria de extremo valor nas pesquisas astronômicas, vindo a ser a base da Astrofísica, novo ramo da Astronomia.

Importantes trabalhos e descobertas sobre os fenômenos relacionados com a luz se sucederiam, como o de Jacques Babinet (1794-1872) com a sugestão (1829) de que o comprimento da onda de uma determinada luz fosse usado como unidade de comprimento; o do matemático irlandês William Rowan Hamilton, sobre a refração cônica (1832), confirmada experimentalmente, no ano seguinte, pelo físico irlandês Humphrey Lloyd (1800-1881); os do astrônomo inglês George Biddell Airy (1801-1892), sobre a incidência da luz polarizada, que em determinado ângulo não formaria os anéis de Newton (1833), confirmando, assim, a hipótese ondulatória da luz, e sua demonstração matemática, em 1835, da difração de Fraunhofer através de aberturas e obstáculos circulares (disco de Airy); os do físico escocês James MacCullagh (1809-1847), sobre reflexão metálica; os do matemático Augustin Louis Cauchy, sobre refração da luz (1836), dos quais resultariam as leis da refração e da reflexão demonstradas por Fresnel, e sobre reflexão metálica (1838 e 1839); o do matemático inglês George Green (1793-1841), sobre sua teoria elástico-sólida para explicar a reflexão da luz; o de Jean Baptiste Biot, sobre sua descoberta (1841) de um novo fenômeno de polarização que dependia da existência das diferentes camadas de um cristal (polarização lamelar); o do matemático George Gabriel Stokes, sobre velocidade da luz em meio móvel; e o de Armand Hyppolite Louis Fizeau (1819-1896), sobre a variação do comprimento da onda de luz vindo de uma estrela (1845), confirmando o Efeito Doppler (para o som) para a luz, passando tal efeito a ser conhecido como Efeito Doppler-Fizeau, e, em 1849, efetuaria experiência, com uma roda dentada, para estabelecer a velocidade da luz no ar, que calculou em 315 mil km por segundo[150].

[150] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

Apesar de a Teoria ondulatória da luz ter recebido crescente apoio no meio científico, havia uma divisão significativa de opiniões, já que, na falta de uma comprovação experimental, a teoria corpuscular continuava a merecer muitos defensores. Dada a controvérsia, François Arago havia sugerido (1838) que a única maneira de se resolver o impasse seria por uma "experiência crucial" que comparasse as velocidades da luz no ar e na água, pois a Teoria corpuscular supunha que os corpúsculos luminosos sofriam uma aceleração ao penetrar num meio mais denso, pelo que a velocidade da luz no sólido ou no líquido seria superior à sua velocidade no ar; a Teoria ondulatória supunha que as ondas luminosas se tornariam mais lentas ao penetrar num meio mais denso, pelo que a velocidade da luz na água seria mais lenta que no ar[151]. Em 1850, Jean Bernard Leon Foucault (1819-1868) utilizaria a mesma técnica de roda dentada com espelho, utilizada por Fizeau, para detectar as velocidades da luz no ar e na água. Ao comprovar uma velocidade superior no ar que na água, a experiência de Foucault é considerada como marco comprobatório, aparentemente definitivo, da Teoria ondulatória da luz.

A Teoria das cores (1802), de Thomas Young seria aperfeiçoada, em 1851, pelo fisiologista Hermann von Helmholtz que, substituindo o violeta pelo azul, afirmou que havia três tipos de cores na retina, caracterizados pela presença de três tipos de pigmentos: um absorvendo preferencialmente na parte vermelha do espectro, um outro no verde e um terceiro no azul. A combinação dessas três cores fundamentais daria a escala cromática.

Novos avanços ocorreriam nas pesquisas que se seguiram, como nas de i) George Stokes, ao demonstrar, em 1852/53, que os raios ultravioletas podem ser refletidos, refratados, interferidos e polarizados; ii) de Maxwell, ao comprovar que as cores do espectro solar poderiam ser obtidas combinando-se o vermelho, o verde e o azul em várias proporções (o que permitiu a invenção da fotografia colorida); iii) a comunicação de outubro de 1859, de Gustav Kirchhoff à Academia de Ciências de Berlim, sobre suas investigações com a técnica da espectroscopia; e iv) construção, por Fizeau, em 1862, de um interferômetro para calcular o deslocamento das franjas da interferência da luz.

A descoberta, em 1864, da "onda eletromagnética", pelo matemático inglês James Clerk Maxwell, além de extraordinário marco na História da Física, teria uma influência decisiva para a credibilidade da Teoria ondulatória da luz. Após ter estabelecido as quatro famosas Equações do campo eletromagnético, Maxwell constatou que elas tinham

[151] BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*

por solução ondas, as quais se propagavam no espaço a uma velocidade de 300 mil km por segundo. Como as recentes medições de Foucault e Fizeau haviam determinado que a onda da luz atingia, também, no ar a velocidade de 300 mil km por segundo, Maxwell concluiu que a radiação solar era uma onda eletromagnética[152], sem tratar, no entanto, da questão da natureza de um suposto éter.

Em 1870, o físico dinamarquês Christian Christiansen (1843-1917) observou a "dispersão anômala" da luz, pela qual a de maior frequência (violeta) tem velocidade maior do que a luz vermelha, o que seria confirmado, no ano seguinte, por August Kundt (1839-1894).

De acordo com a Física vigente à época, a Terra se deslocava por meio de um éter imóvel. Sendo a luz uma onda, deveria, ao viajar em direção paralela e em sentido oposto à direção geral do movimento terrestre, mover-se mais rapidamente que a luz viajando em ângulo reto. Nesse caso, os dois feixes de luz apresentariam faixas de interferência. A medição da largura das faixas de luz permitiria calcular a velocidade da Terra em relação ao éter. A falta de uma comprovação de tal teoria se constituía num grande desafio para a comunidade científica.

O físico germano-americano Albert Abraham Michelson (1852-1931) se dedicaria à medição da velocidade da luz, alcançaria grande fama em seu tempo, e seria o primeiro cientista americano a receber (1907) o Prêmio Nobel de Física. Com o propósito de testar a existência do éter luminífero, de Descartes, descreveu Michelson, em 1881, um interferômetro que havia construído, do qual constava um dispositivo para dividir ao meio o raio luminoso, encaminhar as duas partes em direções diferentes e depois voltar a reunir os dois feixes de luz. Se os dois feixes percorressem a mesma distância com a mesma velocidade, eles se juntariam depois, ainda na mesma fase, ou seja, crista com crista, vale com vale; nesse caso, a luz permaneceria inalterada. Se a distância percorrida por um dos dois raios fosse diferente, ou no caso de a velocidade ter-se alterado no percurso, mesmo que ligeiramente, os feixes reunidos estariam fora de fase, e o aparelho acusaria uma interferência, pela presença de raias claras e escuras. Como não ocorreu tal interferência, presumiu Michelson ter fracassado sua experiência; o mesmo ocorreria nas experiências efetuadas em seguida. Em 1882, calculou Michelson a velocidade da luz em 299.853 km por segundo, posteriormente recalculada para 299.774 km (1933), valor com menos de 2 km acima do valor aceito em 1970.

Em 1887, Michelson e o químico americano Edward William Morley (1838-1923) descreveram sua célebre experiência com o interferômetro,

---

[152] CHERMAN, Alexandre. *Sobre os Ombros de Gigantes.*

confirmando, mais uma vez, o resultado da experiência de Michelson em 1881, ou seja, a figura de interferência permaneceu imóvel. A conclusão era a de que a existência do éter luminífero era incompatível com o eletromagnetismo de Maxwell. Ainda nas primeiras décadas do século XX, Michelson, Morley e outros pesquisadores continuariam a buscar, experimentalmente, uma evidência da existência do éter.

O suposto fracasso da experiência indicava, contudo, que havia alguma falha na Teoria ondulatória da luz.

Como acontecera com Thomas Young no início do século XIX, a Teoria do Eletromagnetismo de Maxwell teve, no princípio, muito poucos seguidores na Inglaterra, em parte pela complexidade da Matemática envolvida, em parte pela confusa explicação da nova Teoria, em parte pela resistência no meio científico inglês de aceitar ideias contrárias à Física de Newton. O apoio do cientista alemão Helmholtz à Teoria de Maxwell levou-o, em 1879, a oferecer um prêmio por sua verificação experimental e incumbiu o jovem físico Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) de estudar o Eletromagnetismo. Entre 1885 e 1889, Hertz, utilizando um detector e um oscilador que construíra, foi capaz de produzir ondas eletromagnéticas de comprimento suficientemente curtas para estudá-las em laboratório. Sua conclusão seria a de que as propriedades das ondas eram similares às da luz, o que o levou a concluir que as ondas de luz eram radiações eletromagnéticas, segundo as equações de Maxwell. Estava dado o primeiro passo para o conhecimento do efeito fotoelétrico.

Pouco depois, o físico irlandês George Fitzgerald (1851-1901) sugeriria a hipótese, conhecida como da "contração", pela qual o comprimento dos corpos materiais variaria, de acordo com seu movimento no éter, de uma quantidade que dependia do quadrado da razão entre sua velocidade e a velocidade da luz. Essa formulação seria aproveitada, parcialmente, pelo físico holandês Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928, PNF de 1902), que, em novembro de 1892, informou à Academia de Ciências de Amsterdã ter adotado a hipótese de Fitzgerald sobre a contração do comprimento num trabalho que seria publicado em 1892/93. Lorentz sustentaria que a massa de qualquer partícula aumentaria à medida que ela atingisse velocidades cada vez maiores, e que a contração da distância acarretaria uma dilatação do tempo. Começaria aí a surgir a noção da velocidade da luz como limite máximo no Universo[153].

Ao final do século XIX, o polêmico problema da natureza da luz parecia definitivamente resolvido, apesar da crítica de alguns cientistas. Quando a Teoria ondulatória já era dada como, experimentalmente,

[153] CHERMAN, Alexandre. *Sobre os Ombros de Gigantes.*

irrefutável, a descoberta de novos fenômenos e as teorias de Planck e Einstein, aparecidas no início do século XX, viriam obrigar a um novo reexame da questão[154].

6.20.3 Eletrologia

A Eletrologia é a parte da Física que investiga os fenômenos elétricos e magnéticos e a inter-relação entre seus respectivos campos. Seus amplos âmbitos foram unificados pelas famosas quatro Equações de Maxwell, de 1873, formulação matemática das leis empíricas constitutivas do Eletromagnetismo.

O progresso nos estudos e pesquisas na Eletrostática, na Eletrodinâmica e no Magnetismo, inclusive por seu tratamento científico, matemático, no século XVIII (Benjamin Franklin, Henry Cavendish, Joseph Priestley, Musschenbroek, John Michell, Franz Maria Aepinus, Charles Augustin Coulomb e Alessandro Volta) assentaria as bases para o extraordinário desenvolvimento teórico e experimental das investigações nesses campos no século XIX[155].

O Eletromagnetismo seria, com a Termodinâmica, dos ramos da Física o que mais se desenvolveria, dadas suas amplas e decisivas aplicações na indústria e nas comunicações, propiciando o extraordinário crescimento econômico na segunda metade do século, e melhoria nas condições de vida de segmentos da população. Em vista de seus estreitos vínculos com a Matemática e a Química, Ciências num processo acelerado de expansão e renovação, seria grande o interesse despertado na comunidade científica em investigar os fenômenos elétricos e magnéticos, os quais, em boa medida, continuavam a intrigar os físicos. Nesse processo, novos conceitos e noções seriam formulados, novos instrumentos e aparelhos científicos seriam criados, e laboratórios e centros de pesquisa se multiplicariam.

Na evolução das pesquisas em Eletromagnetismo, pode-se considerar que quatro vultos despontam como representativos desse processo: Oersted, Ampère, Faraday e Maxwell, aos quais um grande número de teóricos e investigadores deve agradecer, por suas importantes contribuições inovadoras e apropriada menção específica.

A invenção, em 1800, da pilha elétrica, por Alessandro Volta, serviria de deflagrador de uma série de experiências no terreno da Eletricidade e do Magnetismo, inclusive no da Eletroquímica. Nicholson,

[154] BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*
[155] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

Carlisle, Wollaston, Humphry Davy, Romagnosi, Desormes e Petrov foram alguns dos físicos a estudar e a aplicar, desde os primeiros anos do século XIX, a corrente elétrica contínua em seus experimentos. À medida que os resultados positivos apareciam, aumentava o interesse no meio científico em estudar mais os fenômenos da Eletricidade e do Magnetismo.

O físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), professor da Universidade de Copenhague, a partir de 1806, descobridor (1820) da piperina (alcaloide da pimenta), pioneiro na preparação (1825) do alumínio metálico, fundador, em 1824, de uma sociedade para a divulgação do conhecimento científico, começou seus experimentos, no campo da eletricidade, em 1807. No início de 1820, durante um curso que ministrava sobre Eletricidade e Magnetismo, observou Oersted que um condutor se esquentava quando era percorrido por uma corrente elétrica. Procurando estabelecer uma relação entre Eletricidade e Magnetismo, descobriu que a passagem da corrente elétrica desviava a agulha imantada, posta nas proximidades. A agulha se desviava, porém, não paralelamente, como sugeria o modelo de força newtoniano, mas perpendicularmente ao fio condutor. Além disso, a agulha indicava direções opostas quando colocada acima ou abaixo do fio. Essa experiência indicava a necessidade de formulação de uma nova teoria para explicar uma força estranha que não atuava de acordo com o "esquema newtoniano das linhas de ação retilínea"[156].

A experiência de Oersted chegou ao conhecimento de Faraday em maio de 1820, e em julho, o próprio Oersted comunicou à Academia de Ciências da França o resultado de seus experimentos. O fenômeno detectado já fora, na realidade, descoberto em 1802, por Gian Domenico Romagnosi (1761-1835), mas os meios científicos o ignoraram.

Imediatamente, vários importantes experimentos se sucederiam. Em setembro, François Arago informaria a Academia que repetira a experiência de Oersted, adicionando ter constatado que um fio de cobre, no qual circulava uma corrente elétrica, enrolado em torno de um pedaço de ferro doce, atuava como um imã, pois era capaz de atrair limalhas de ferro não imantados.

André-Marie Ampère (1775-1836), filho de um abastado comerciante, teve uma educação esmerada, que, aliada à precocidade, lhe permitiu, ainda muito jovem, estudar Matemática nas obras de Euler, Bernoulli e Lagrange, adquirir rudimentos de Cálculo infinitesimal, conhecer latim, e, como Pascal, aos 12 anos de idade escrever um trabalho sobre seções cônicas. Seu pai morreria guilhotinado durante o Terror,

[156] BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*

quando Ampère tinha 18 anos. Em 1803, publicou *Teoria Matemática do Jogo*, foi professor de Matemática em Lyon e Paris, Inspetor-Geral da Universidade de Paris, professor de Filosofia na Faculdade de Letras de Paris, e de Física geral e experimental do Colégio de França, e membro da Academia de Ciências em 1814. Sua extensa atividade científica foi além do Magnetismo, pois publicou ensaios sobre Mecânica, Análise matemática, Geometria dos poliedros, Refração da luz, Óptica teórica e Zoologia. Ampère foi apelidado por Maxwell como o "Newton da Eletricidade", e, em sua homenagem, a unidade de intensidade da corrente elétrica leva seu nome.

Em setembro de 1820, Ampère comunicou à Academia de Ciências seus experimentos sobre os efeitos magnéticos da corrente elétrica, distinguindo "tensão elétrica" responsável por efeitos eletrostáticos, e "corrente elétrica", responsável pelos efeitos magnéticos observados por Oersted; criaria Ampère os termos Eletrostática (estudo de cargas elétricas em repouso) e Eletrodinâmica (o estudo de cargas elétricas em movimento). Ao mesmo tempo, demonstrou que as correntes elétricas se atraem no caso de seguirem no mesmo sentido, e se repelem no caso de serem conduzidas em sentido contrário. Ampère mostrou, na mesma oportunidade, que um fio enrolado numa espiral, no qual circulasse corrente elétrica, comportava-se como um imã comum (a que deu o nome de solenoide).

De 1821 a 1826, Ampère comunicaria regularmente à Academia de Ciências suas observações eletrodinâmicas, baseadas em cálculos cuidadosamente verificados e numa experimentação direta. Em 1821/22, dedicou-se, em colaboração com o físico suíço Auguste de la Rive, a experiências que o levaram ao fenômeno da indução eletromagnética, mas, interessado nas correntes permanentes, não analisou o fenômeno observado, o que adiaria para 1831 a descoberta, por Faraday, das correntes induzidas. Nessa época, Ampère construiu, para medir a corrente elétrica, o primeiro "galvanômetro", que permitia medir quantitativamente a corrente em um circuito qualquer por meio da deflexão de uma bobina submetida a esta corrente, ocasionada pela interação magnética desta bobina com um ímã permanente.

Em 1827, Ampère escreveria *Teoria matemática dos fenômenos eletrodinâmicos, deduzida unicamente da experiência*, obra que coroaria suas investigações sobre a Eletricidade e o Magnetismo, e na qual explicaria os fenômenos pela hipótese de uma interação newtoniana entre elementos de corrente. Idealizou, então, a célebre "regra da mão direita", pela qual a deflexão da agulha tomaria a direção dos dedos dobrados da mão direita

quando esta segurasse o fio condutor, desde que mantivesse o polegar na direção da corrente elétrica. Na obra, Ampère enunciou, igualmente, quatro importantes princípios do Eletromagnetismo: i) as ações de uma corrente ficam invertidas quando se inverte o sentido da corrente; ii) há igualdade nas ações exercidas sobre um condutor móvel por dois outros, fixos, situados a igual distância do primeiro; iii) a ação de um circuito fechado, ou de um conjunto de circuitos fechados sobre um elemento infinitésimo de uma corrente elétrica é perpendicular a esse elemento; e iv) com intensidades constantes, as interações de dois elementos de corrente não mudam quando suas dimensões lineares e suas distâncias são modificadas numa mesma proporção.

Com suas descobertas, Ampère condenaria, em definitivo, a crença nos fluidos magnéticos, entidade misteriosa e metafísica, tida como responsável pelas propriedades magnéticas da matéria.

Em outubro de 1820, Jean Baptiste Biot e Félix Savart (1791-1841) comunicariam à Academia de Ciências a descoberta experimental do que viria a ser conhecida como a Lei Biot-Savart, que permite calcular a intensidade do campo magnético, e, em 1821, o físico russo-alemão Thomas Johann Seebeck descobriria que, ao mergulhar em recipientes, a temperaturas diferentes, soldas de metais distintos formando circuito, criava, nesse circuito, uma corrente; é o "efeito termoelétrico"[157].

Em 1823, o físico inglês William Sturgeon (1783-1850) inventaria o eletroímã, que viria a ser aperfeiçoado, em 1829, pelo físico americano Joseph Henry (1797-1878).

Ainda em 1827, o físico alemão Georg Simon Ohm (1787-1854), que realizara, desde 1825, uma série de experiências com circuitos elétricos, publicou o livro *O circuito galvânico matematicamente analisado*. Nessa obra, Ohm, além de descrever seus experimentos, inclusive sobre a condutividade dos condutores e as relações entre correntes e resistências associadas em série e em paralelo, apresentou sua famosa lei: "A diferença de potencial entre as extremidades de qualquer parte de um circuito elétrico estável é igual ao produto da intensidade da corrente elétrica pela resistência elétrica daquela parte do circuito". Em seus experimentos, Ohm usara o galvanômetro, inventado por Ampère, para mostrar que o comprimento de um condutor era responsável por uma perda de força (quanto mais longo o fio, maior a perda de força); a essa propriedade chamou de resistência elétrica, (que é proporcional à extensão do fio), nome utilizado até hoje[158].

[157] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*
[158] CHERMAN, Alexandre. *Sobre os Ombros de Gigantes.*

Em 1830, Gauss desenvolveria sua teoria do campo magnético terrestre; Joseph Henry, que construíra, em 1829, o primeiro motor elétrico, faria uma experiência incompleta sobre indução eletromagnética e construiria um eletroímã capaz de levantar uma carga de uma tonelada de ferro; e, em 1831, Fechner confirmaria, em *Determinação da massa da cadeia galvânica*, os resultados obtidos por Ohm.

A esses sucessivos avanços nas pesquisas em Eletricidade e Magnetismo, seguir-se-ia um período de intensas investigações, guiadas, igualmente, por um espírito científico e uma fundamentação quantitativa, no qual despontariam as valiosas contribuições de Faraday.

Michael Faraday (1791-1867), de origem muito pobre, recebeu instrução apenas primária, quando criança, abandonando os estudos aos 13 anos. Em 1804, foi trabalhar para um livreiro e encadernador como entregador de livros e jornais, e menino de recado. Como aprendiz de encadernador, teve sua curiosidade despertada para os livros de Ciência, passando a frequentar as reuniões de uma sociedade científica local. Seu interesse pelos temas científicos aumentaria após ter assistido a conferências de Humphry Davy, no Real Instituto, em 1812, o que o levaria a tentar, sem sucesso, um emprego na Sociedade Real. Em 1813, obteve o posto de assistente no laboratório de Humphry Davy, no Instituto, no qual chegaria a diretor do laboratório, em 1825, e a professor de Química, em 1833. Faraday trabalharia no Real Instituto até 1861. Logo no início de suas atividades no Instituto, teve a oportunidade de viajar, por ano e meio, acompanhando Humphry Davy ao continente europeu (Suíça, França e Itália), quando participou de encontros com cientistas, frequentou laboratórios e museus, aprendeu francês e italiano, e adquiriu conhecimento das pesquisas em Química e Física naquele continente. No campo da Química, inventou Faraday método para liquefazer o dióxido de carbono, o sulfeto de hidrogênio, o brometo de hidrogênio e o cloro (1823); isolou e descreveu a benzina (1825); pesquisou ligas de aço; familiarizou-se com as investigações em eletrólise, na descoberta de elementos; e produziu vidro de alta qualidade para uso em telescópio. Seus trabalhos em Química constam do *Experimental Researches in Chemistry and Physics* (1858). Sua grande contribuição, pela qual é famoso, foi no campo da Eletricidade e do Magnetismo, cujos inúmeros experimentos compõem os três volumes do *Experimental Researches in Electricity* (1839, 1844 e 1845). Excesso de trabalho comprometeria sua saúde, de 1839 a 1845, quando foi obrigado a reduzir sua atividade científica. Retomaria seus trabalhos naquele ano, mas novos problemas de saúde, e mentais, o afligiriam, a partir de 1855, o que o obrigaria, pouco depois, a renunciar ao Real Instituto e à pesquisa[159].

[159] GRIBBIN, John. *Science, a History*.

O grande interesse despertado pela demonstração de Oersted, em 1820, de uma corrente elétrica ser capaz de defletir uma agulha magnética, levou a revista *Anais de Filosofia* a pedir a Faraday para escrever um artigo sobre o assunto. Ao testar experimentalmente a descoberta de Oersted, com o intuito de melhor descrevê-la no artigo solicitado, não só comprovou a Teoria do campo magnético circular, mas também provou o inverso, ao rotar um imã em torno de um condutor elétrico.

Os experimentos inconclusivos de Ampère, nos anos de 1821/22, em Genebra, com Auguste de la Rive, sobre indução eletromagnética, despertaram a atenção de Faraday, que, além dos trabalhos em Química, começou a pesquisar nessa área da Física. Em 1821, publicaria suas ideias iniciais sobre "linhas de força" e registraria suas primeiras experiências sobre a conversão de energia elétrica em energia mecânica. Dado que a corrente elétrica podia criar efeitos magnéticos, como provara Ampère, considerou Faraday a possibilidade de o inverso ser igualmente verdadeiro, ou seja, o efeito magnético poderia criar uma corrente elétrica.

Para tanto, Faraday efetuou várias experiências. Em 1831, enrolou duas espirais de fio num anel de ferro; uma das espirais foi ligada a uma bateria, e a outra, a um galvanômetro, podendo o circuito ser aberto ou fechado por uma chave; ao ligar e desligar a bateria, uma corrente elétrica transiente passava no primeiro fio, e também aparecia no outro fio, temporariamente, outra corrente, ocorrência gerada pelos efeitos magnéticos da primeira corrente, ou seja, o campo magnético que aparecia no anel de ferro, sob ação da primeira espiral, gerava (por ação reversa) uma corrente elétrica na segunda espiral, e o galvanômetro media a intensidade da corrente produzida. O fenômeno de uma corrente variável, passando por uma bobina, provocar o aparecimento de uma corrente transitória em outro circuito recebeu de Faraday o nome de indução eletromagnética.

Ainda em 1831, realizaria Faraday experiências sobre a ação química na eletricidade, e, em 1833, observou que, na passagem de uma corrente elétrica através de soluções de nitrato de prata, sulfeto de cobre e cloreto de alumínio, os metais de tais soluções se depositavam nas barras metálicas introduzidas nessas soluções[160]. A esse efeito deu o nome de eletrólise, e enunciou suas duas leis (em termos modernos), dando as bases modernas da Eletroquímica: i) a massa da quantidade de metal depositada nas barras metálicas e a quantidade de eletricidade que passa por cada solução são proporcionais; e ii) a massa de uma substância liberada por uma certa quantidade de eletricidade é proporcional ao peso atômico do elemento liberado, e inversamente proporcional à sua valência. As barras

[160] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

receberiam o nome de eletrodos, o polo positivo, de ânodo, e o negativo, de cátodo, designações sugeridas, como as de eletrólise e íon, por William Whewell, e aprovadas por Faraday. Em sua homenagem, a quantidade de eletricidade necessária para liberar um peso equivalente de um elemento chama-se "faraday", e a unidade de capacidade eletrostática recebeu o nome de "farad".

Em meados de 1830, Faraday era famoso e respeitado, além de reconhecido como o maior cientista experimentador da Inglaterra de seu tempo. Depois de ter inventado o dínamo, ter descoberto a indução eletromagnética e ter avançado nas pesquisas da eletrólise, mas sem formação matemática e com pouco conhecimento teórico, Faraday, para explicar a configuração formada por limalhas de ferro ao redor de um imã (já observado por Pedro Peregrino no século XIII), sugeriria que as forças magnéticas atuariam como filamentos ou linhas de força que saíam de ímãs e circuitos. A esse conjunto de linhas Faraday chamaria de "campo", em que as linhas de força magnética formariam o campo magnético, e as de força elétrica, o campo elétrico. A introdução de tal concepção (de ação de campo) seria extremamente útil, porquanto explicava que os corpos agiam sobre os outros corpos tanto por contato quanto pela interação dos campos por eles produzidos[161]. Como tais ideias contrariavam a noção de ação à distância, de Newton, aceita universalmente, e temendo que viesse a ser vítima de violentas críticas, Faraday depositou no cofre da Sociedade Real, em 1832, documento com essas ideias; as instruções eram para ser o envelope aberto somente após sua morte, o que não o impediu de, em janeiro de 1844, explicar, em conferência na Sociedade Real, as linhas principais de suas ideias sobre o assunto[162]. Essas ideias pioneiras seriam retomadas por Maxwell.

Por essa mesma época, outros acontecimentos indicavam os progressos nos estudos e experimentações em Eletromagnetismo: invenção da pilha elétrica, envolvendo hidrogênio e oxigênio, em 1839, por William Robert Grove (1811-1896); publicação, em 1839, por Gauss, de *Teoremas gerais sobre as forças atrativas e de repulsão que atuam de acordo com o inverso do quadrado da distância*; publicação, em 1841, por James Prescott Joule (1818-1889), de *Sobre a produção do calor pela eletricidade*; invenção, pelo químico Robert Bunsen (1811-1899), de pilha elétrica de carbono e zinco; leis de Heinrich Friedrich Lenz (1804-1865) sobre a ação térmica da corrente elétrica (1842/43), segundo as quais, uma corrente elétrica induzida flui numa direção tal que seja gerada uma oposição à mudança

[161] CHERMAN, Alexandre. *Sobre os Ombros de Gigantes.*
[162] GRIBBIN, John. *Science, a History.*

que a induziu (se assim não fosse haveria uma violação da conservação de energia).

Após sua *Especulação sobre condução elétrica e a natureza da matéria* (1844), na qual utilizaria a Teoria atômica, Faraday, por sugestão de Lorde Kelvin, examinaria, pela primeira vez, a ação do Magnetismo sobre a luz plano-polarizada, e descobriria que nem todos os corpos reagem da mesma maneira diante de um campo magnético; alguns, como o ferro, cobalto e níquel, são bons condutores, fazendo convergir as linhas de força desse campo através de si próprios (substâncias ferromagnéticas); outros, como os compostos de ferro, platina, paládio e terras raras, são fracamente atraídos por um magneto (substâncias paramagnéticas); enquanto outras, como o bismuto e o antimônio, são pobres condutores do campo magnético, divergindo suas linhas de força através de si mesmos (substâncias diamagnéticas)[163].

Significativas pesquisas ampliariam o conhecimento sobre os fenômenos elétricos e magnéticos até o aparecimento, em 1864, da obra *Teoria Dinâmica do Campo Elétrico*, de Maxwell: i) com base em pesquisas entre 1845 e 1847, Gustav Kirchhoff (1824-1887) estabeleceria a "lei dos nós", pela qual "em uma intersecção (nó) de dois os mais condutores, a soma das correntes elétricas que chegam até ela é igual à soma das correntes que dela saem", e a "lei da malha", pela qual "numa malha (conjunto de baterias e resistências) a soma das forças eletromotrizes das baterias é igual à soma das quedas de potencial ou voltagem nas resistências"; ii) formulação matemática, do físico Franz Ernst Neumann (1798-1895), da lei da indução eletromagnética (1845/47); iii) lei da força entre cargas elétricas em movimento, de Wilhelm Eduard Weber (1804-1891), publicada em 1846, no primeiro número de sua famosa *Medidas Eletrodinâmicas*; iv) *Ensaio sobre a conservação da força*, de Helmholtz, em 1847, no qual demonstrou que as correntes elétricas induzidas poderiam ser matematicamente deduzidas pela aplicação do "princípio da conservação da energia", das descobertas de Oersted e Ampère de 1820; v) estudos matemáticos de Lorde Kelvin sobre magnetismo (1850), trabalho sobre as relações entre força eletromotriz, trabalho e calor em um circuito elétrico, e publicação, em 1851, do livro *Teoria matemática do magnetismo*; vi) invenção da bobina de indução, por Heinrich Rühmkorff (1803-1877), capaz de produzir centelhas de comprimentos moderados; vii) lei Wiedmann-Franz, de Gustav Wiedmann (1826-1899) e Johann Carl Franz (1826-1902), sobre a relação entre condutividade elétrica e condutividade térmica (1853); e viii) publicação, em 1856, nas *Medidas Eletrodinâmicas*, por W. E. Weber e Rudolph Hermann Kohlrausch

---

163 BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

(1809-1858), de estudo sobre a medição da relação entre cargas elétricas estáticas e dinâmicas, calculando, no ano seguinte, a velocidade de propagação das intensidades elétricas e magnéticas em 300 mil km por segundo.

No exame da evolução dos estudos sobre os fenômenos elétricos e magnéticos no século XIX, sobressai a contribuição do matemático escocês Maxwell, cuja obra é reputada como unificadora do tratamento do tema, resultando a criação do ramo do Eletromagnetismo.

James Clerk Maxwell (1831-1879) nasceu em Edimburgo, filho único de abastada e tradicional família escocesa. Desde cedo manifestou interesse pela Ciência, fazendo experiências em casa, com a ajuda do pai. Aos 14 anos escreveu uma monografia sobre um método de construção de curvas ovais perfeitas, lida na Real Sociedade de Edimburgo. Estudou nas Universidades de Edimburgo e Cambridge, e lecionou Filosofia natural no Marischal College, de Aberdeen, onde iniciaria suas pesquisas em eletricidade. Seu trabalho (1857) dessa época, *Os anéis de Saturno*, ganhou o concurso para a cátedra do Kings College de Londres, onde lecionaria de 1860 a 1865, período fecundo, no qual estabeleceria, em colaboração com Boltzmann, a Teoria Cinética dos Gases e iniciaria sua contribuição à Termodinâmica.

Além do trabalho estatístico em *Ilustrações da Teoria Dinâmica dos Gases* (1860), com sua célebre fórmula da distribuição de velocidades das moléculas num gás, e sua demonstração da relação entre energia cinética e temperatura absoluta, produziria Maxwell sua famosa *Teoria dinâmica do campo elétrico* (1864); em 1861, fora eleito para a Sociedade Real de Londres. Maxwell se retirou para Glenlair, onde permaneceria trabalhando em suas pesquisas até 1871, quando escreveria várias *Memórias* sobre temas da Física, e completaria sua teoria sobre Eletromagnetismo. Ao lhe ser confiada a cátedra de Física experimental na Universidade de Cambridge, e a incumbência de construir e organizar o que viria a ser o célebre Laboratório Cavendish, Maxwell passaria a se dedicar, a partir de 1872, às suas novas responsabilidades, mas publicaria, em 1873, o *Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo*, com as "quatro Equações de Maxwell", que formam a base de toda a Teoria eletromagnética. Ao unificar, assim, a Eletricidade e o Magnetismo, a data de 1873 é tida como a da fundação do Eletromagnetismo, e Maxwell seu fundador. Faleceu Maxwell aos 48 anos (1879), vitimado pelo câncer.

Os estudos de Maxwell sobre os fenômenos elétricos e magnéticos começaram em 1855, especificamente sobre a teoria das linhas de força de Faraday, cujos resultados foram apresentados à Sociedade Filosófica de Cambridge sob o título de *Sobre as linhas de força de Faraday*. O documento consta de duas partes: na primeira, Maxwell estudou a analogia entre

as linhas de força e as linhas de fluxo num fluido incompressível, e, na segunda parte, estudou o Eletromagnetismo propriamente dito, desenvolvendo suas primeiras ideias sobre a Teoria eletromagnética[164]; esse trabalho Maxwell enviou a Faraday.

Nos anos de 1861 e 1862, escreveria Maxwell quatro artigos *On Physical Lines of Force*, nos quais analisou a existência de tensões e vibrações no éter, associadas às linhas de força de Faraday; estabeleceu que a velocidade das ondas dependeria das propriedades do éter, que deveria transmitir ondas na velocidade da luz; e concluiu que a luz consistia nas ondulações transversais do mesmo meio ambiente que seria a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos[165].

Prosseguindo em seus estudos, publicaria, em colaboração com Henry Charles Jenkin (1833-1885), o trabalho *Sobre as relações elementares das quantidades elétricas*, e refinaria, em termos matemáticos, os trabalhos apresentados nos quatro documentos de 1861/62.

Em 1864, Maxwell publicaria sua grande obra *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*, na qual demonstrou, matematicamente, que o comportamento de uma corrente elétrica e de seu campo magnético associado era semelhante, em todos os aspectos, ao das ondas de luz[166]. Usando os valores determinados experimentalmente por Weber e Kohlrausch em 1857, Maxwell obteve para a velocidade da propagação dos distúrbios eletromagnéticos o valor de 310.740 km por segundo, bastante próximo da velocidade da luz, estabelecida por Jean Leon Foucault, em 1850, de 298.360 km por segundo. Em consequência, confirmaria Maxwell sua conjectura de que a luz era uma onda eletromagnética (nessa época, admitia-se a natureza ondulatória da luz), ao escrever que "a velocidade é tão próxima da luz que temos fortes razões para concluir que a própria luz (incluindo a radiação de calor e outras radiações) é um distúrbio eletromagnético na forma de ondas propagadas através do campo eletromagnético, segundo as leis eletromagnéticas". Desta forma, integrava Maxwell, numa única teoria fundamental, a Óptica, a Eletricidade e o Magnetismo, feito comparável, para muitos autores, à Mecânica de Newton.

Em 1873, Maxwell publicaria sua obra definitiva sobre Eletromagnetismo, ampliando o trabalho de 1864 com a formulação das quatro leis, conhecidas como "Equações de Maxwell", que relacionam os campos elétricos e magnéticos com suas variações no espaço e no tempo.

---

164 BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*
165 GRIBBIN, John. *Science, a History.*
166 RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

Como explicou o já mencionado Cherman, a primeira equação estabelece que o divergente do campo elétrico é igual à densidade de carga dividida pela permissividade do vácuo; essa equação expressa a existência da força coulombiana, e é uma aplicação direta de um teorema de Gauss, conhecido como "lei de Gauss para o campo elétrico". A segunda equação determina que o divergente do campo magnético é nulo, e expressa o fato de que não há polos magnéticos isolados, nem cargas magnéticas, e corresponde à "lei de Gauss para o campo magnético". A terceira equação expressa o fato experimental de que um campo magnético variável no tempo produz um campo elétrico, e é baseada na "lei de Faraday-Henry". Ela estabelece que o rotacional do campo elétrico é igual à derivada parcial do campo magnético no tempo, com o sinal trocado. Este é o princípio do motor elétrico e do dínamo (o primeiro inventado por Henry, e o segundo, por Faraday). A quarta equação é análoga à terceira e expressa a produção de um campo magnético por uma corrente elétrica ou por um campo elétrico variável no tempo. Ela estabelece que o rotacional do campo magnético é igual à soma da corrente, multiplicada pela permeabilidade do vácuo com a derivada parcial do campo elétrico no tempo, multiplicada pela permissividade e pela permeabilidade do vácuo. A equação é conhecida como "Ampère-Maxwell", pois Ampère já havia demonstrado experimentalmente que uma corrente elétrica causava efeitos magnéticos, tendo Maxwell introduzido uma generalização acrescentando a variação temporal do campo elétrico.

Ainda nessa obra, Maxwell estudaria as soluções de ondas planas para suas equações, mostrando que os distúrbios elétricos e magnéticos estão confinados num mesmo plano, porém em direções perpendiculares, e, também, perpendiculares à direção de propagação desse plano de onda, a qual era transversal como os distúrbios luminosos[167]. Devido à sua morte prematura, não pôde Maxwell comprovar sua Teoria, já que não se sabia, ainda, emitir e detectar a onda eletromagnética. A verificação seria obra de Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), professor de Física em Karlsruhe, publicada em três importantes *Memórias*: em 1887, *Sobre os efeitos de indução produzidos pelos processos elétricos nos isolantes*, e, em 1888, *Sobre a velocidade da propagação das ações eletrodinâmicas* e *Sobre as ondas eletrodinâmicas no ar e suas reflexões*. Relatou Hertz experiências realizadas com "osciladores", quando produziu radiações eletromagnéticas, hoje conhecidas como "ondas hertzianas" ou ondas de rádio. Ao alimentar uma bobina com um circuito elétrico oscilante, observara que havia faíscas entre as esferas metálicas do oscilador, faíscas estas que podiam produzir

[167] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

radiação eletromagnética, conforme a teoria de Maxwell. Cada oscilação devia gerar uma única onda, cujo comprimento devia ser maior que o da luz, que é da ordem de décimo de milésimo de milímetro. Hertz pôde distinguir a forma das ondas pela intensidade de formação das faíscas, e, assim, calcular seu comprimento em 66 centímetros, o que equivalia a um milhão de vezes o comprimento da onda de luz visível. Devido às imensas dificuldades que enfrentou em suas experiências, inclusive pela capacidade do oscilador, o cálculo da velocidade da onda estava errado, o que seria definitivamente acertado por Ernst Lecher (1856-1926), em 1890, e por Edouard Sarasin (1843-1917) e Lucien de la Rive (1834-1924), em 1893, confirmando que a velocidade de propagação no fio e no ar era igual à da luz[168].

O físico italiano Augusto Righi (1850-1920) demonstraria (1892/93) que as ondas hertzianas diferiam das ondas de luz apenas em comprimento, já que apresentavam os mesmos fenômenos de reflexão, refração, polarização e interferência que os das de luz. Em 1894, Righi obteve onda eletromagnética com comprimento de onda de 26 milímetros, o que viria a permitir um novo campo de aplicação na tecnologia de micro-ondas. Edouard Branly (1846-1940) inventaria, em 1890, o "radiocondutor", com o objetivo de detectar as ondas hertzianas, chegando a detectá-las a 160 metros de distância. Em 1892, o físico William Crookes (1832-1919), que havia criado o radiômetro em 1875, descoberto o elemento tálio em 1863, e pesquisava os raios catódicos, sugeriu que as ondas hertzianas poderiam ser utilizadas na telegrafia sem fio; pouco depois, em 1899, o físico italiano Guglielmo Marconi (1874-1937) conseguiria, com a ajuda das ondas eletromagnéticas, expedir um telegrama de uma margem à outra do canal da Mancha[169].

Ao final do século, os fenômenos da luz, da eletricidade e do magnetismo estavam ligados pela Teoria eletromagnética de Maxwell, à qual se integravam igualmente, os raios ultravioletas e os raios infravermelhos. Por outro lado, se a noção de campo substituía a de ação à distância, continuava a prevalecer a ideia de um meio material necessário para o deslocamento das ondas, ainda que tenham sido frustradas todas as tentativas para explicar, por meio do éter, a totalidade das leis eletromagnéticas. As pesquisas de um modelo de éter perderiam todo o interesse a partir de 1905, com a Teoria da relatividade especial.

[168] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[169] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

6.20.4 Termologia

O estudo do fenômeno do calor corresponde à parte da Física denominada, genericamente, de Termologia. No século XIX, prosseguiriam, com muito interesse, as pesquisas, em áreas como a Termometria e a Calorimetria, nas quais instrumentos de medição teriam um grande relevo no desenvolvimento de um melhor conhecimento sobre aspectos relacionados com temperatura, quantidade e transferência de calor e sobre dilatação, pontos de ebulição e fusão, e mudança de estado dos corpos, por ação do calor. Ainda que Ciência experimental, o mais significativo em Termologia seria o extraordinário avanço no campo conceitual. Importantes estudos teóricos, inclusive de formulação de leis e teoremas, redundariam na criação da Termodinâmica, fato da maior importância na evolução da Física, pois seria um novo domínio que revolucionaria e ocuparia o centro das atividades teóricas e experimentais da Termologia. Novos conceitos, como os de energia (utilizado no sentido moderno, pela primeira vez, em 1807, por Thomas Young) e de Entropia (criado por Rudolf Clausius), a Teoria Cinética dos Gases (Clausius, Maxwell, Boltzmann) e o estabelecimento de uma escala termodinâmica (Lorde Kelvin) seriam progressos essenciais na evolução do estudo do calor como fonte energética para a realização de trabalho, vindo a Termodinâmica a se constituir, com o Eletromagnetismo, na parte mais criativa e inovadora da Física do século XIX.

Dos vários e importantes avanços ocorridos nas investigações sobre o calor, no século XVIII, devem ser ressaltados, por pertinentes para os futuros trabalhos em Termologia, e em especial para a Termodinâmica, a distinção entre temperatura e calor e o conceito de "calor latente", por Joseph Black; os trabalhos para a determinação do zero absoluto, de Guillaume Amontons, de Jacques Alexandre Charles e de Johann Heinrich Lambert; bem como as escalas termométricas, de Daniel Fahrenheit, de René Réaumur e de Anders Celsius, cujos pontos de congelamento e de ebulição variavam de acordo com o líquido empregado (água, álcool ou mercúrio).

A atividade experimental no campo dos fenômenos térmicos se intensificaria no século XIX, devendo ser registradas importantes contribuições de pesquisadores como, na França, Dulong, Petit, Clapeyron, Cailletet, Hirn, Despretz e Regnault, entre outros; na Grã-Bretanha, Joule, Rankine, Lord Kelvin e Dewar; na Alemanha, August, Magnus, Helmholtz, Clausius, Wiedermann e Franz; na Suíça, Colladon e Pictet; na Polônia, Olazcwski e Wroblewski; na Áustria, Natterer; e nos Países Baixos, Van der Waals, Van't Hoff e Kamerlingh Onnes. Ao mesmo tempo, crescia o número de centros de pesquisa e ampliavam-se

e modernizavam-se os laboratórios, inclusive com a utilização de novos instrumentos de precisão.

Na constituição da Termodinâmica (termo cunhado em 1849, por Lorde Kelvin), deve ser ressaltada a estreita relação entre teoria e prática, ou entre Ciência e Técnica. A Primeira Revolução Industrial fora obra, principalmente, de engenheiros e práticos, com escasso conhecimento científico. A máquina a vapor, de Thomas Savary, para bombear água das minas de carvão (1698), aperfeiçoada por Thomas Newcomen, se enquadra exatamente nesse caso, já que foi idealizada e construída numa base empírica, sem qualquer noção dos princípios envolvidos no seu funcionamento e sem nenhuma consideração teórica. A contribuição científica nessa etapa foi irrelevante para o desenvolvimento econômico e técnico.

A chamada Segunda Revolução Industrial teve a participação de cientistas, ao lado dos engenheiros e técnicos, como foi o caso do aperfeiçoamento, em 1767, da máquina a vapor, de Newcomen, por James Watt (1736-1819), com a incorporação de um condensador externo; em seu trabalho, contou Watt com a colaboração do físico e químico Joseph Black.

O grande surto de máquinas térmicas seria uma das principais causas dos inúmeros estudos teóricos e de invenções e aperfeiçoamentos de máquinas e aparelhos, que, por sua vez, teriam imensa influência no progresso experimental. Deve ser mencionado, no particular, o interesse da indústria, ao contribuir para o desenvolvimento da pesquisa, que lhe proporcionaria, em troca, o benefício de um extraordinário avanço na técnica dos motores térmicos. O fantástico aumento do rendimento energético das máquinas explica boa parte do desenvolvimento industrial dos países da Europa, a partir da segunda metade do século XIX.

A origem da Termodinâmica remonta ao estudo, pelo físico francês Sadi Carnot (1796-1832), da máquina de Watt, ou seja, a busca de uma teoria para explicar, e eventualmente melhorar, o rendimento da máquina a vapor.

Do final do século XVIII até meados do século XIX, prevaleceria a noção do calórico, decorrente de Lavoisier, em seu *Método de Nomenclatura Química* (1787), pelo qual o calor seria um fluido imponderável, inodoro e invisível, que preencheria o interior dos corpos, sendo sua transferência de um corpo para outro devida ao escoamento do calórico no sentido decrescente de suas respectivas pressões. Apesar do predomínio dessa concepção nos meios científicos, alguns pesquisadores se manifestariam contra a ideia do calórico. Seus primeiros e mais conhecidos opositores foram Benjamin Thompson; Lorde Rumford (1753-1814), que escreveu, em 1798, *An Experimental Enquiry*

concerning the source of heat excited by friction; o físico e matemático John Leslie (1766-1832) em *Experimental Enquiry into the nature and propagation of heat* (1804); e Humphry Davy (1778-1829), autor de *Elementos da Filosofia Química*, de 1812, ao demonstrarem, por experimentos, a equivalência do calor e da energia mecânica, e ser o calor um movimento. Por essa Teoria mecânica, o calor seria, portanto, uma vibração dos átomos, e a temperatura, a intensidade desses movimentos. Dado que tais críticas e tais conceitos não tiveram acolhida, inicialmente, nos círculos científicos, a Teoria do calórico continuaria a servir de base das pesquisas até meados do século.

No exame da evolução da Termologia no século XIX, ênfase especial deve ser dada à Termodinâmica pelo que representou de inovação conceitual e pelo que contribuiu, como instrumento essencial, para o desenvolvimento industrial da sociedade contemporânea. O calor passaria a ser entendido como uma forma de energia, mas uma forma especial de energia, pois, ao contrário das demais, como a elétrica ou a mecânica, o calor não pode ser totalmente transformado em outra energia. Outra característica seria a irreversibilidade dos fenômenos térmicos, que não existe, por exemplo, na Mecânica e na Eletricidade, isto é, o calor nunca flui espontaneamente de um corpo de temperatura baixa para outro de temperatura mais alta: o calor flui sempre do corpo quente para o frio, isto é, os processos em que intervêm o calor são irreversíveis.

Assim, no estudo da Termologia, uma primeira parte tratará, de forma sucinta, dos progressos experimentais sobre os fenômenos térmicos, progressos esses que não seriam estranhos ao desenvolvimento da Termodinâmica; e uma segunda parte, mais abrangente, da origem e desenvolvimento da própria Termodinâmica.

6.20.4.1 Estudos Experimentais dos Fenômenos Térmicos

Em várias áreas, pesquisas laboratoriais desenvolveriam técnicas, métodos e instrumentação a fim de medir, de maneira adequada e de forma precisa, as manifestações dos fenômenos térmicos. Os significativos progressos alcançados ao longo do século XIX ampliaram consideravelmente o conhecimento científico desses fenômenos com reflexos positivos em várias áreas da Física e de outras Ciências, bem como em diversos ramos industriais.

6.20.4.1.1 Termometria

Os termômetros mais usados eram os de líquido (água, álcool ou mercúrio) desde a época de Réaumur e Fahrenheit. O problema da calibragem da coluna líquida, para efeitos da medição da temperatura, só seria equacionado, no início do século, por Gay-Lussac. Pierre Louis Dulong (1785-1838) e Alexis Thérèse Petit (1791-1820) construiriam um termômetro de peso, cujo mercúrio, ao aumento da temperatura, deixaria escapar de um reservatório certa quantidade de líquido, cujo peso seria função da temperatura[170]. Termômetros a gás, utilizados desde o século XVII (Van Helmont, Johann C. Sturm) e XVIII (Amontons, Jakob Hermann) seriam aperfeiçoados por Gay-Lussac, Regnault e Mendeleiev. Termômetro de máxima seria inventado, em 1852, por Sir William Aitken (1826-1892), ao reduzir a coluna de mercúrio, impedindo que a mesma baixasse, com a diminuição da temperatura; Heinrich Geissler (1814-1879) construiria um termômetro de máxima em 1864.

Vários métodos para a medição das altas temperaturas (pirometria) seriam utilizados por James Prinsep (1799-1840), em 1828, John George Appold (1806-1865), em 1855, Jean Deville (1797-1872) e Louis Troost (1825-1911), em 1857/59, Werner von Siemens (1816-1892) e Hugh Callendar (1863-1930), em 1886/91. O físico Claude Servais Pouillet (1790-1868) desenvolveria técnica de medição que lhe permitiria, em 1837, medir o calor solar e a absorção atmosférica[171].

De grande relevância seria o desenvolvimento técnico e metodológico para a obtenção, em laboratório, e medição de temperaturas extremamente baixas (Criometria), isto é, além do ponto de congelamento. Seu desenvolvimento esteve vinculado à liquefação dos gases, como método para obtenção de temperaturas extremamente baixas, e ao estabelecimento de uma "escala termodinâmica", sugerida, em 1848, por Lorde Kelvin, a qual seria inteiramente independente das propriedades físicas de qualquer substância específica (água, álcool, mercúrio) e capaz de atingir o "zero absoluto", temperatura hipotética caracterizada pela completa ausência de energia calórica. Como seus exames transcendem o mero campo da termometria, a liquefação dos gases e a Criometria, áreas de extensos e importantes progressos experimentais, na segunda metade do século, serão examinadas na parte relativa à Termodinâmica.

O efeito termoelétrico, descoberto por Thomas Johann Seebeck (1770-1831), em 1821, seria aplicado, para a determinação de temperatura,

---

[170] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[171] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

por Oersted, Pouillet, Lord Kelvin e Johann Poggendorf (1796-1877) entre outros, inclusive no aperfeiçoamento dos termômetros termoelétricos.

Ainda no campo da Termometria, pode-se incluir a questão da “dilatação” dos corpos, em seus três estados. No caso dos sólidos, menção às pesquisas, em 1818, de Dulong e Petit; de Eillhard Mitscherlich (1794-1863), em 1827; de Hippolyte Fizeau, em 1864; e de Ludwig Matthiesen (1830-1906), em 1866; e no caso dos líquidos, aos trabalhos de Dulong e Petit, sobre o mercúrio, e de César Despretz (1792-1863) e Karl Scheel (1866-1936), sobre a água[172]. Para a dilatação dos gases, o mais importante trabalho foi o de Louis Joseph Gay-Lussac, em 1802, com sua famosa Lei, pela qual todos os gases têm o mesmo coeficiente de dilatação, independentemente de sua natureza, temperatura e pressão, fixado em 1/267, mas depois corrigido para 1/273,2. Fredrik Rudberg (1800-1839), Gustav Magnus (1802-1870) e Henri Victor Regnault (1810-1878), com melhor aparelhagem e uma técnica experimental mais metódica e rigorosa, seriam os principais pesquisadores, na primeira metade do século, enquanto Louis Cailletet (1832-1913), Thomas Andrews (1813-1885) e Émile Amagat (1841-1915) devem ser citados para o final do período.

6.20.4.1.2 Calorimetria

Lavoisier e Laplace, em 1783, foram os primeiros a utilizar um calorímetro, na base da fusão do gelo, para medir a quantidade de calor, cujos princípios haviam sido enunciados por Joseph Black e Johann Carl Wilcke. Importantes aperfeiçoamentos na técnica do isolamento calorífico e da medição seriam incorporados aos calorímetros, especialmente por Rumford, Dulong e Petit, Regnault e Vladimir Louguinine (1834-1911).

Pelo método de resfriamento, Dulong e Petit, em 1819, mediram o calor específico de vários sólidos (bismuto, chumbo, cobalto, cobre, enxofre, estanho, ferro, níquel, ouro, platina, prata, telúrio e zinco) tomando como base a água. Tomando como base o peso atômico do oxigênio, e considerando-o como unitário, Dulong e Petit descobriram que o produto do calor específico de cada sólido, considerado pelo seu peso atômico, era sempre constante; daí resultaria o enunciado da Lei de Dulong-Petit, de que “os átomos de todos os corpos simples têm exatamente a mesma capacidade para o calor”[173].

No que se refere ao calor específico do gás à pressão constante (C_p), os primeiros cálculos, no século XVIII, eram imprecisos, assim como os

[172] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[173] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

de François Delaroche (? - 1813?) e Jacques Etienne Berard (1789-1869), de 1813. Dulong, em 1829, apresentaria seu cálculo de calor a uma pressão constante, mas um real progresso foi alcançado com os trabalhos de Regnault, em 1852, quando mostrou que para os gases que satisfazem a Lei Boyle-Mariotte, o C_p é independente da pressão e da temperatura (C_p= 0,2386), enquanto para os outros gases, como o carbônico, o C_p cresce com a temperatura. Em 1876, Gustav Wiedemann (1826-1894) refez as medidas e obteve o valor de 0,2391 para C_p.

Os valores da capacidade calórica a volume constante para o ar (C_v) foram calculados, em 1829, por Dulong, e posteriormente, por John S. Jolly (1857-1933)[174].

6.20.4.1.3 Condutibilidade Calórica

A primeira menção sobre a condução do calor no sólido, no século XIX, deve ser a Jean Baptiste Biot, que, em 1804, publicou um trabalho sobre suas experiências com barras metálicas, quando fez a distinção entre condução interna e radiação externa; novos trabalhos seriam apresentados em 1816. Despretz (1816), Wiedemann e Franz (1853), Anders Ångstrom (1861), Franz Neumann (1862), Kirchhoff (1880) e Rudolf Kohlrausch (1900) mostraram, em seus estudos, que a relação das condutibilidades dependeria das diferenças de temperatura e de potencial presente nas medidas. Deve-se assinalar que, em 1822, Fourier publicou sua conhecida *Teoria Analítica do Calor*, na qual demonstrou a condução do calor num sólido isotrópico e homogêneo, além de apresentar sua famosa série de Fourier, e iniciar a chamada Análise dimensional. Outro estudo matemático a ser citado é o de Siméon-Denis Poisson, intitulado *Teoria Matemática do Calor*, de 1835, no qual apresentou a solução de vários problemas da condução do calor em corpos de diversas formas.

Sobre a condutibilidade dos líquidos, Despretz, em 1839, demonstraria a condução do calor pela água, cujos resultados foram melhorados e aperfeiçoados pelas pesquisas de Frederik Guthrie (1833-1886), em 1868, de Adolph Winckelmann (1848-1910), em 1880, e Friedrich Wachsmuth (1868-1941), em 1893.

As principais experiências e medidas sobre a condutibilidade dos gases foram as realizadas por Gustav Magnus (1802-1870), em 1861, Friedrich Narr (1844-1893), em 1871, Josef Stefan (1835-1893), em 1872, Adolph Winkelmann, de 1872 a 1893, e Thomas Andrews, quando mostraram que sua fraca condutibilidade térmica dependia de sua

[174] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

natureza (o hidrogênio é mais fraco condutor que os outros gases) e de sua pressão.

6.20.4.1.4 Equivalência Mecânica do Calor

Desde o início do século, alguns físicos, como Rumford, Humphry Davy, Carnot e Ampère procuraram estabelecer uma equivalência entre a perda de certa quantidade de energia mecânica e o ganho de certa quantidade de energia térmica. Em 1837, Carl Friedrich Mohr (1806-1879) publicou trabalho no qual procurou determinar o equivalente mecânico do calor, relacionando o calor necessário para aquecer certa quantidade de ar e o trabalho necessário para expandi-lo isoladamente. Em 1842, Julius Robert Mayer (1814-1878) procuraria, utilizando a metodologia empregada por Mohr, calcular o equivalente mecânico do calor, conforme seu trabalho intitulado *Sobre a determinação quantitativa e qualitativa das forças*[175]. Pouco depois, no mesmo ano, Mayer publicaria *Observações sobre as forças da Natureza inanimada*, em que apresentou cálculo de equivalente mecânico do calor. O engenheiro dinamarquês Ludwig August Colding (1815-1888) publicaria, em 1843, trabalho com um cálculo de equivalente mecânico do calor, em que ressaltou "em todos os fenômenos naturais só se troca a forma de energia".

De 1840 a 1849, o físico inglês James Prescott Joule (1818-1889) realizou diversas experiências na área do calor e da eletricidade, inclusive sobre a produção de calor na passagem da corrente elétrica num fio condutor. Em comunicação à Sociedade Real, informou que a quantidade de calor, Q, era proporcional à resistência elétrica, R, do fio, ao quadrado da intensidade da corrente, I, e ao tempo, t, durante o qual a corrente circula no condutor. Tal demonstração ficou conhecida como Lei de Joule ou Efeito Joule, com a seguinte notação moderna: $Q= A\ R\ I^2\ t$, onde $A=1/j$, sendo J o equivalente mecânico do calor[176]. A primeira medição do equivalente mecânico do calor, J, pela comparação do calor gerado por corrente elétrica produzida por indução eletromagnética foi publicada em 1843, no qual o valor de J obtido era de 423,4 kgm. Nos anos seguintes, Joule continuaria seus experimentos com a apresentação de monografia a respeito, em 1850, à Sociedade Real.

O físico francês Adolphe Hirn (1815-1890), em 1858, em *Pesquisas sobre o equivalente mecânico do calor*, adotou o termo "caloria" para

[175] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*
[176] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

representar a quantidade de calor, e calculou o J em 425,2 kg. O físico norte-americano Henry Rowland (1848-1901), em 1880, obteria, com uma técnica experimental cuidadosa, o melhor resultado de J, calculados 4,186 joules para o equivalente da caloria, entre 17 e 18°C[177], o que equivale dizer que 4,186 joules de energia mecânica correspondem a 1 caloria-grama.

6.20.4.1.5 Mudança de Estado

As variações simultâneas que afetam as características de um corpo submetido a influências externas atuam de forma diversa. Pressão e temperatura determinariam comportamento diferente a moléculas dos gases, do líquido e do sólido. O químico Dmitri Mendeleiev (1834-1907) observaria, em 1867, existir uma determinada pressão, acima da qual um gás não poderia ser liquefeito. Pesquisas sobre as condições de mudança de estado (pontos de fusão, pontos de ebulição, pontos críticos, liquefação, gaseificação, sublimação) foram efetuadas, entre outros, por Regnault, Pouillet, Cailletet, Natterer, Gay-Lussac, Amagat, Andrews, Faraday, Northmore, Dewar, Wroblewski e Olszewski. Para descrever essas variações, o físico holandês Johannes Diderik van der Waals (1837-1923) escreveu, em 1873, sua tese de doutorado, para a Universidade de Leiden, *Sobre a Continuidade dos Estados Líquido e Gasoso*, na qual demonstrou que a lei dos gases ideais poderia ser derivada da Teoria Cinética dos Gases, ao assumir que as moléculas de gás não têm volume, e que não há força atrativa entre elas. Em 1881, van der Waals elaboraria uma equação (revendo sua posição inicial) com dois parâmetros (tamanho e atração), a qual se aplicaria a todas as substâncias (Lei dos estados correspondentes). Por esse trabalho, van der Waals recebeu o Prêmio Nobel de Física de 1910.

Na segunda metade do século se intensificariam as pesquisas para a obtenção de temperaturas extremamente baixas (Criometria), inclusive como método para a obtenção da liquefação dos gases. Os métodos mais usuais para abaixar a temperatura eram o emprego de misturas refrigerantes, como gelo e sal, e evaporação de líquidos voláteis, como o éter. A liquefação dos gases, por meio do aumento da pressão, para obtenção de baixas temperaturas resultou em algum sucesso no início do século, mas limitado à amônia, cloro e dióxido de carbono. Em 1862, viria a ser conhecido o "efeito Joule-Kelvin", pelo qual, para um determinado gás numa dada pressão, existe uma temperatura chamada "temperatura de inversão", acima da qual esse gás é esquentado na sua expansão, e, abaixo dela, é resfriado. O processo consistia em comprimir

[177] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

enquanto resfriava o gás, revertendo o processo repentinamente, de forma a aumentar ainda mais o resfriamento.

Real progresso experimental adviria, no final do século, dos laboratórios da Holanda, Polônia, França e Inglaterra, com a liquefação dos gases oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e hélio, sendo obtido o "zero absoluto" (0 K), que corresponde a -273,15°C ou a -459,69°F; a temperatura de aproximadamente 273,16 K (0,01°C) define o ponto tríplice da água – coexistência dos três estados físicos.

Em 1877, Cailletet comunicou à Academia de Ciências que havia liquefeito (em pequena quantidade) o oxigênio, ao comprimi-lo a uma pressão de 300 atmosferas, depois ao esfriá-lo até -29°, e, por fim, ao descomprimi-lo repentinamente. No período 1877/78, Cailletet obteve, além do oxigênio líquido, a liquefação, em quantidade extremamente reduzida, de nitrogênio, hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio e acetileno. Nesse mesmo ano, o físico suíço Raoul Pierre Pictet (1846-1926) obteve pequena quantidade de oxigênio liquefeito, pela compressão do oxigênio, a 320 atmosferas e na temperatura de -140°C, por meio de um refrigerador mecânico do tipo cascata, empregando dióxido de carbono e dióxido de enxofre com pré-resfriamento.

Em 1883, os poloneses Zygmunt von Wroblewski (1845-1888) e Karol Olszewski (1846-1915) anunciariam a liquefação, em grande quantidade, do oxigênio, usando o mesmo tipo de aparelho que Cailletet, mas utilizando etileno líquido, à pressão de um terço da pressão atmosférica. Obtiveram a temperatura de -130°C, abaixo do T_c do oxigênio de -118°C determinado, mais tarde, por Wroblewski. Nesse mesmo anúncio, os dois poloneses comunicaram ter obtido a liquefação do ar atmosférico, do nitrogênio e do monóxido de carbono.

Em 1895, o engenheiro alemão Carl von Linde (1846-1934) liquefez o ar atmosférico, usando uma nova técnica, baseada no efeito Joule-Kelvin. O hidrogênio foi liquefeito, em 1898, pelo físico inglês James Dewar (1842-1923), usando o efeito Joule-Kelvin, e solidificado no ano seguinte; Dewar liquefaria em 1899 o flúor.

6.20.4.2 Termodinâmica

É costumeiro iniciar o estudo da Termodinâmica por seu mais renomado pioneiro, no século XIX, o engenheiro Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832), filho do matemático e político Lazare Carnot (1753-1823), que formulara o princípio do rendimento mecânico, isto é, que a proporção do calor

que é transformado em movimento na máquina a vapor decresce quando suas partes móveis se deslocam a velocidades relativas cada vez maiores[178]. Lazare Carnot foi membro do Diretório, que governou a França de 1795 a 1797, e é conhecido como o "Grande Carnot", por seu papel central na reorganização do Exército francês da Revolução. Outro ilustre membro da família, Marie François Sadi Carnot, neto do Grande Carnot e sobrinho de Nicolas Leonard, viria a ser o quarto presidente (1887/1894) da 3ª República Francesa. Nicolas seguiria a tradição familiar, pesquisando o fenômeno do calor com vistas a determinar a ineficiência, reconhecida, das máquinas a vapor na produção da força motriz.

Num pequeno opúsculo de 118 páginas, intitulado *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, de 1824, Sadi Carnot apresentaria suas reflexões, com poucos cálculos, sobre os fundamentos científicos do funcionamento da máquina a vapor com uma análise da conversão do calor em força pela diferença de temperaturas na máquina. Carnot, como a grande maioria dos cientistas e engenheiros de seu tempo, era adepto do calórico, ou seja, a criação de energia mecânica pelo simples transporte do calórico (calor). Em sua obra, escreveria que

> para compreender em toda sua generalidade o princípio da produção do movimento pelo calor, é necessário concebê-lo independentemente de qualquer mecanismo, de qualquer agente particular; é preciso estabelecer raciocínios aplicáveis às máquinas a vapor e a todas as máquinas a calor imaginário, qualquer que seja a substância utilizada e qualquer que seja a maneira com que se age sobre ela.

Para tanto, Carnot criaria um modelo de máquina ideal, sem atrito, que realizaria um ciclo completo de modo que a substância usada seria levada de volta ao seu estado inicial.

Sadi Carnot teorizaria sobre essa base: "A produção da potência motriz é devida nas máquinas a vapor, não a uma consumação real do calórico, mas ao seu transporte de um corpo quente para um corpo frio, isto é, ao seu restabelecimento de equilíbrio, equilíbrio suposto rompido por qualquer que seja a causa, por uma ação química, tal como a combustão ou outra qualquer". Na máquina a vapor, três partes constitutivas continham uma fonte de calor: a fornalha (temperatura alta), a água ou o vapor (substância condutora do calor), e um condensador (temperatura baixa). Ao passar da fornalha para o condensador, o calor passava de uma temperatura muito alta para uma mais baixa, gerando o trabalho. Ainda nessa obra, Carnot apresentaria um número que corresponderia à quantidade de

[178] BIEZUNSKI, Michel. *Histoire de la Physique Moderne.*

potência motriz para produzir certa quantidade de calor: cerca de 370 kgm (hoje chamado de equivalente mecânico do calor), ou seja, a quantidade de calor para suspender uma massa de 370 kgm a um metro de altura[179].

Pouco mais adiante, enunciaria o que viria a ser conhecido como o "Ciclo de Carnot": "A potência motriz do calor é independente dos agentes que trabalham para realizá-la; sua quantidade é fixada unicamente pelas temperaturas dos corpos entre os quais se faz o transporte do calórico". O motor realizaria o trabalho mecânico devido à queda de temperatura e não à perda de calor. Daí decorreria a irreversibilidade do processo térmico, isto é, não há passagem espontânea da temperatura mais baixa para a mais alta. Na mesma obra, anotaria Carnot que

> se pode colocar como tese geral que a potência motriz existe em quantidade invariável na Natureza, que ela não é nunca, propriamente falando, nem produzida, nem destruída. Na verdade, ela muda de forma, isto é, ela produz ora um gênero de movimento, ora outro, mas ela não é jamais destruída. Esse princípio se deduz, por assim dizer, somente da teoria mecânica.

Estava delineado o "princípio da conservação da energia" (1ª Lei da Termodinâmica), bem como a possibilidade de transformações recíprocas das diferentes formas de energia[180].

Vitimado pelo cólera, faleceu Sadi Carnot em 1832, com 36 anos de idade, sem ter podido concluir seus trabalhos e publicá-los na íntegra. Suas notas seriam publicadas muito mais tarde, por iniciativa de seu irmão Lazare-Hyppolite Carnot. O matemático e engenheiro Benoit Paul Emile Clapeyron (1799-1864) se encarregaria, em 1834, da apresentação matemática do Ciclo de Carnot, demonstrando que a produção de trabalho na máquina de Carnot dependia somente da diferença de temperatura entre os reservatórios térmicos, e que a máquina e o gás utilizado na mesma retornavam ao seu estado inicial, no final de cada ciclo, com o calórico sendo conservado nesse ciclo.

6.20.4.2.1 1ª Lei da Termodinâmica

A segunda fase da evolução da Termodinâmica corresponde aos anos de 1840, na qual se sobressaíram as contribuições de Mayer, Joule, Colding, Helmholtz e Clausius, das quais resultaram a 1ª Lei

---

[179] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

[180] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

da Termodinâmica ou da Conservação da Energia. Como em outros momentos de grandes descobertas científicas, a virtual simultaneidade das pesquisas e conclusões originou uma certa polêmica sobre o papel desempenhado por cada um desses cientistas, sendo que, atualmente, é reconhecida a prioridade cronológica ao médico alemão Mayer.

Julius Robert von Mayer (1814-1878) engajou-se, em 1840, como médico de bordo de um navio com destino a Java. Numa parada no porto de Surabaia, na Indonésia, viu-se obrigado Mayer a "sangrar" um tripulante; ao contrário do sangue escuro e opaco venal, jorrava um sangue vermelho brilhante, tipo arterial. Percebeu a mesma coloração brilhante no sangue de outros tripulantes e no seu próprio sangue venal, concluindo que o metabolismo humano, agindo de forma diferente nos trópicos, era a causa de tal mudança na coloração do sangue. Conhecendo Mayer o que escrevera Lavoisier sobre a produção de calor animal por meio da combustão, ou a relação entre o oxigênio e o calor, aspecto fisiológico da combustão, inferiu que a causa do matiz mais brilhante do sangue estava na menor oxidação necessária para manter a temperatura regular do corpo nos trópicos. A energia química contida nos alimentos era responsável pelo trabalho realizado pelo corpo[181]. Postularia que uma mesma quantidade de alimento poderia ser transformada em quantidades diferentes de trabalho e calor corporal e que, portanto, essas duas quantidades, somadas, permaneciam constantes. Compreenderia ainda Mayer que o calor produzido mecanicamente pelo organismo deveria manter uma relação quantitativa invariável com o trabalho gasto para produzi-lo.

De regresso, em fevereiro de 1841, à sua cidade natal, Heilbronn, procurou Mayer publicar uma *Memória* nos Anais de Física e Química de Leipzig sobre princípios da conservação da energia, mas foi recusada por seu editor, o físico Poggendorff. Nesse artigo, Mayer sustentava que "movimento, calor e eletricidade são fenômenos que podem ser convertidos numa só força e que se podem transformar uns nos outros de acordo com leis definidas"[182]. Em 1842, uma segunda *Memória*, *Observações sobre as forças da natureza inanimada*, seria publicada nos *Anais*, com o cálculo do "equivalente mecânico do calor", obtido pela relação entre a quantidade de força (trabalho) de um peso que cai de uma altura aproximada de 65 m e a quantidade de calor necessária para aquecer um peso igual de água de 0°C a 1°C. Mayer obteve para J um valor em torno de 3,65 joules por caloria, em unidades atuais (caso tivesse usado os dados experimentais atuais, teria encontrado o valor correto de J= 4,18) [183].

---

181 CHERMAN, Alexandre. *Sobre os Ombros de Gigantes.*
182 TRATTNER, Ernest. *Arquitetos de Ideias.*
183 BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

O trabalho do médico Mayer não teve o reconhecimento da comunidade de físicos, talvez por seu insuficiente e parco conhecimento de Matemática e dos princípios da Física. Somente mais de 20 anos depois (1862), graças a uma conferência do físico John Tyndall (1820-1893), na qual chamou atenção para o pioneirismo da obra, teria Mayer o reconhecimento mundial, inclusive de Helmholtz, mas não de Joule.

No início dos anos de 1840, na Inglaterra, James Prescott Joule (1818-1889), filho de um dono de cervejaria, não chegou a se diplomar, mas estudou alguns anos com o químico John Dalton e efetuou suas experiências no campo da Física (Eletricidade, Calor, Gases) num laboratório construído por seu pai, ao lado da cervejaria. Em 1840, num trabalho intitulado *Sobre a produção de calor por eletricidade voltaica*, Joule descreveu o que viria a ser conhecido como efeito Joule, isto é, que a produção de calor na passagem de corrente elétrica num fio condutor é proporcional à resistência elétrica do fio, ao quadrado da intensidade da corrente e ao tempo durante o qual circula a corrente no fio condutor. No ano seguinte, seria publicado novo trabalho de Joule, no qual demonstrou que o calor oriundo da combustão dos equivalentes dos corpos era proporcional às intensidades de suas afinidades para o oxigênio, e medido pela força eletromotriz de uma pilha voltaica usada para decompor o óxido eletroliticamente. Em 1843, comunicaria Joule mais experiências sobre os efeitos térmicos da corrente elétrica, inclusive sua primeira medição do equivalente mecânico do calor. A medição, pouco precisa, foi feita comparando o calor gerado por corrente elétrica produzida por indução eletromagnética e o excesso de trabalho gasto pela máquina produtora dessa corrente[184].

Joule realizaria, entre 1845 e 1850, uma série de famosas experiências que comprovariam a ideia de Mayer de que o calor e o trabalho são intercambiáveis, que a relação entre eles era fixa e inteiramente independente dos materiais ou dos processos empregados. A primeira série dessas experiências (num total de nove) foi relatada em 1845 à Sociedade Real. Consistia em dispor horizontalmente uma roda de pás numa cuba de água; o movimento das palhetas da roda lhes era comunicado por um molinete que, quando girava, acarretava a queda de duas massas, de 1,8144 kg cada. Essas massas caíam de uma altura de cerca de 10,97 metros, a uma velocidade de 30,46 cm por segundo; a queda das duas massas arrastava as palhetas, por meio do molinete, e a fricção das palhetas na água da cuba aqueceria a água, cuja temperatura era acusada por um termômetro.

184 BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

Querendo demonstrar que se obteria a mesma quantidade de calor a partir de uma dada quantidade de energia, qualquer que fosse sua origem, Joule realizaria experiências com mercúrio, com atrito de anéis de ferro em banhos de mercúrio e com a transformação de energia elétrica em calor num fio imerso em água, sempre obtendo o mesmo resultado da mesma proporcionalidade entre as formas de energia.

Em 1850, Joule apresentou à Sociedade Real nova monografia, na qual relatou novas experiências semelhantes às de 1845, mas agora utilizando jogos diferentes de palhetas para a roda de pás. Concluiria Joule que, efetivamente, a taxa entre calor e trabalho era fixa, e era inteiramente independente dos materiais e processos empregados. A quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura de uma libra de água de 1° F era equivalente à força mecânica representada pela queda de 772 libras pelo espaço de um pé, cifra bastante próxima do valor moderno (778 libras). Com suas experiências, Joule "forneceu a primeira ilustração convincente do princípio de conservação da energia, uma das leis fundamentais da Física moderna"[185].

O engenheiro dinamarquês Ludwig August Colding (1815-1888) publicou, em 1843, cálculo do equivalente mecânico do calor, utilizando o atrito entre superfícies de latão e outros materiais, como zinco, chumbo, ferro, madeira e tecido. Nesse trabalho, Colding adiantou que em todos os fenômenos naturais só se troca a forma de energia, pelo que é tido, também, por alguns autores, como autor de uma das versões da 1ª Lei da Termodinâmica.

Quando Joule estava atarefado com suas experiências para relacionar as energias química, elétrica e calorífica, von Helmholtz apresentou, em 27 de julho de 1847, à Sociedade de Física de Berlim, seu célebre artigo intitulado *Sobre a Conservação da Força*, no qual enunciou o "Princípio Geral da Conservação da Energia". Estudioso da ação dos músculos e do calor animal, Helmholtz mostraria em seu trabalho que a força dos músculos tinha origem na Química e na Física, que havia uma correlação entre atividade química e trabalho muscular, estabelecendo o princípio da conversão da energia (mecânica, calorífica, elétrica), pela simples transformação de uma pela outra[186].

Finalmente, em 1850, Rudolf Clausius apresentou à Academia de Ciências de Berlim um importante e célebre trabalho intitulado *Sobre a força motriz do Calor*, no qual, além de formular a 2ª Lei da Termodinâmica, afirmaria a equivalência de calor e trabalho, ou seja, que em qualquer sistema fechado (como a máquina a vapor) o total de energia é constante.

[185] RIVAL, Michel. *Os Grandes Experimentos Científicos.*
[186] CHERMAN, Alexandre. *Sobre os Ombros de Gigantes.*

Segundo o Princípio da Conservação da Energia, todo fenômeno físico pode ser explicado calculando-se a quantidade de energia antes e depois da interação. A energia total antes da reação deve ser idêntica àquela depois da reação, e, ainda que possa ter mudado de forma, pode ser calculada. Como explica Biezunski, o referido Princípio é a extensão do princípio químico de Lavoisier, segundo o qual na Natureza nada se perde, nada se cria, tudo se transforma. A energia é o valor de troca universal em Física: todo fenômeno, seja sob forma de força, de massa, de velocidade, de ação elétrica ou magnética, etc, pode ser transformada numa forma particular de energia, que tem a particularidade de poder ser trocada e transformada ao longo de um processo físico[187]. A equivalência das leis da conservação da massa e da energia seria demonstrada por Einstein, em 1905, com a Teoria da Relatividade Restrita.

6.20.4.2.2 2ª Lei da Termodinâmica

Nessa terceira etapa da evolução da Termodinâmica, relativa à formulação da sua 2ª Lei, dois cientistas merecem uma referência especial.

O primeiro é o próprio enunciador da 2ª Lei, o físico alemão Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822-1888), nascido em Köslin (hoje Polônia), formado pela Universidade de Berlim e doutorado em Física pela de Halle, em 1848, e professor de Física matemática nas Universidades de Zurique, Wurzburg e Bonn. Em fevereiro de 1850, Clausius apresentou à Academia de Ciências seu trabalho intitulado *Sobre a força motriz do calor*, no qual formulou a 1ª e a 2ª Leis da Termodinâmica. No que se refere à 2ª Lei, Clausius demonstrou ser impossível transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente, o que equivale a negar a reversibilidade do processo calórico. Em 1854, Clausius propôs que o fluxo de calor de um corpo quente para um corpo frio deveria ser compensado pela transformação de trabalho em calor, de modo que o calor deveria fluir do corpo frio para o quente.

Ao introduzir, então, o conceito de "valor de equivalência" de uma transformação térmica, que era medido pela relação entre a quantidade de calor e a temperatura, na qual ocorre a transferência, pôde Clausius fazer a distinção entre processos reversíveis e irreversíveis. Assumindo que a transformação do calor de um corpo quente para um frio tinha um valor de equivalência positivo, Clausius daria uma nova versão para a 2ª Lei: "a soma algébrica de todas as transformações ocorrendo num processo circular somente pode ser positiva"[188].

[187] BIEZUNSKI, Michel. *Histoire de la Physique Moderne.*
[188] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

Em 1866, Clausius publicaria um trabalho no qual introduziria o conceito de uma nova grandeza física, a Entropia (do grego, para "transformação"), com o símbolo "S", em lugar de valor de equivalência. Para Clausius, há dois tipos de transformação: a da conversão do calor em trabalho e a da transferência de calor de temperaturas mais elevadas para as temperaturas mais baixas. A transferência inversa, no segundo caso, seria contraditória com o comportamento natural do calor. Assim, para Clausius, o valor da transferência da baixa temperatura seria negativo, e da mais alta para a baixa seria positivo. Esse valor, a entropia, só pode ser nulo no caso de uma transformação reversível, ou positivo, no caso de transferência irreversível. Clausius mostraria que a máquina ideal de Carnot (Ciclo de Carnot) só era reversível porque sua entropia era constante; qualquer outra máquina construída trabalharia num ciclo irreversível, pois a entropia iria sempre crescer.

Como explica o citado Cherman, Clausius considerou a entropia como a "disponibilidade de calor de um sistema". Uma mudança na entropia é o calor absorvido ou emitido dividido pela temperatura do sistema. Pela 2ª Lei, a entropia cresce no processo irreversível, o que significa que há menos calor disponível para que um sistema realize o trabalho[189]. A entropia descreve, ainda, a desordem, num sistema agitado, como um recipiente cheio de gás, cujas moléculas estão submetidas a um movimento incessante e errático. Nesse trabalho, resumiu Clausius a 2ª Lei como a energia do Universo sendo constante, e sua entropia tendendo para o máximo[190], o que significaria a morte do Cosmos, pois, atingido o ponto máximo de entropia, estaria igualmente atingido o ponto mínimo de calor.

O outro cientista com contribuição fundamental para a 2ª Lei da Termodinâmica foi o físico irlandês William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907), nascido em Belfast, na Irlanda do Norte, cuja precocidade intelectual lhe permitiria ingressar na Universidade de Glasgow aos dez anos de idade. Estudaria posteriormente em Cambridge e Paris, onde estudou com Regnault, e se interessaria pelo fenômeno térmico motivado pela obra de Carnot. Em 1846, aceitou a cátedra de Filosofia natural na Universidade de Glasgow, que ocuparia por 53 anos. Conheceu, no ano seguinte, Joule, que o influenciaria para se dedicar ao estudo do calor. Kelvin foi muito ativo no campo industrial, colaborando para o desenvolvimento da indústria de refrigeração e para a fabricação de galvanômetros e cabos elétricos. Foi responsável pela instalação do sistema telefônico na Grã-Bretanha e

---

[189] CHERMAN, Alexandre. *Sobre os Ombros de Gigantes.*

[190] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

do cabo submarino telegráfico entre a Europa e a América do Norte. Foi eleito, em 1890, Presidente da Sociedade Real de Londres e sepultado ao lado de Newton na Abadia de Westminster.

Kelvin estudou as descobertas do físico francês Jacques Charles (1743-1823) sobre a variação de volume de gases em função de variação de temperatura (Lei de Charles), pelas quais, com base em experimentos e cálculos, concluíra que à temperatura de –273°C todos os gases teriam volume igual a zero. A conclusão de Kelvin, em 1848, seria diferente: o que se anulava nessa temperatura não era o volume da matéria, mas sim a energia cinética de suas moléculas. Em consequência, sugeriu que essa temperatura deveria ser considerada como a mais baixa possível, chamando-a de "zero absoluto", numa escala hoje conhecida como "escala Kelvin", importante por simplificar a expressão matemática das relações entre grandezas termodinâmicas. Em 1856, Kelvin daria nova demonstração de que o zero absoluto era atingido quando a energia cinética das moléculas se anulava[191].

A propósito da escala Kelvin e do zero absoluto, caberia mencionar algumas marcas atingidas, a partir da segunda metade do século XIX, pelos avanços técnicos na Criogenia e na Pirometria, além da temperatura mais baixa (-89°C) ou 73 K, e da mais alta na Terra (58°C) ou 331 K.

Assim, Zero Absoluto (K ou -273,15°C), liquefação do ar (73 K ou –200°C), congelamento do mercúrio (234 K ou –39°C), congelamento da água (273 K ou 0°C), ebulição da água (373 K ou 100°C), queima de papel (457 K ou 184°C), queima de madeira (523 K ou 250°C), fusão do chumbo (600 K ou 327°C)), chama de gás natural (933 K ou 660°C), fusão do ferro (1808 K ou 1535°C), superfície do Sol (5800 K ou 5527°C), e interior do Sol (14 milhões de K ou 14 milhões de °C).

Em 1851, Lord Kelvin publicaria o trabalho *Sobre a Teoria Dinâmica do Calor*, no qual produziria uma formulação matemática baseada na tese da irreversibilidade e dissipação do calor, o que significaria uma nova versão para a 2ª Lei da Termodinâmica: "é impossível realizar um processo cíclico cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho".

Em 1871, James Clerk Maxwell, que trabalhara em Eletromagnetismo e na Teoria Cinética dos Gases, publicaria um livro intitulado *Teoria do Calor*, no qual apresentou seus pontos de vista sobre a 2ª Lei.

Numa série de artigos publicados nos anos 1870, o físico austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) mostrou que a 2ª Lei da Termodinâmica poderia ser explicada pela aplicação das leis da Mecânica e da Teoria

[191] CHERMAN, Alexandre. *Sobre os Ombros de Gigantes.*

das Probabilidades ao movimento dos átomos. A 2ª Lei seria, assim, essencialmente estatística, e um sistema atingiria o estado de equilíbrio termodinâmico porque o equilíbrio é, seguramente, o mais provável estado de um sistema de matéria. Com efeito, caso se considere que todos os estados de um gás têm *a priori* a mesma probabilidade de se produzir, o número de estados de equilíbrio possíveis é muito maior que o número de estados que não preenchem essas condições[192]. Nesse trabalho, apresentou Boltzmann um novo tratamento para a entropia, ao formular o famoso Teorema H, segundo o qual, para um gás dado, a um estado dado, existe uma grandeza H, que tem a propriedade de ter seu valor decrescido ao longo do tempo. Basta identificar o valor negativo dessa grandeza com a entropia para chegar ao princípio do crescimento da entropia. O trabalho de Boltzmann seria utilizado por Planck na formulação da Teoria Quântica.

6.20.4.2.3 Teoria Cinética dos Gases

No campo da Termodinâmica, inclui-se a Teoria Cinética dos Gases, de amplas implicações no campo da Física. O pioneiro nesse estudo foi o matemático Leonhard Euler (1707-1783), que defendeu, em 1729, ser o ar composto por minúsculas esferas que giravam, tese que seria apoiada pelo matemático e físico Daniel Bernoulli, que, em 1738, lançou uma edição revisada de sua *Hidrodinâmica*. Nessa obra, Bernoulli utilizaria argumentos de conservação de energia mecânica (movimento), e mostraria que, à medida que a temperatura do gás muda, a pressão muda de acordo com o quadrado da velocidade das moléculas que o compõem. Em 1787, Jacques Charles (1746-1823) demonstrou que uma mudança de temperatura implicava uma alteração de volume, independentemente do tipo de gás. Em 1802, Joseph Gay-Lussac (1778-1850) demonstraria que, a uma pressão constante, uma mudança no volume de gás acarretava uma alteração também em sua temperatura. Em 1805, em seu *Sistema de Química*, Thomas Young, em apoio às ideias de John Dalton, defenderia que a matéria era feita de partículas, e que, portanto, os gases deveriam ser tratados, como proposto por Euler e Bernoulli, como um conjunto de pequenas esferas em movimento. Em 1811, o químico italiano Amedeo Avogadro (1776-1856) formalizou a distinção entre átomo e molécula, ao formular sua célebre hipótese: "sob as mesmas condições de pressão e temperatura, volumes iguais de diferentes gases contêm o mesmo número de moléculas".

192 BIEZUNSKI, Michel. *Histoire de la Physique Moderne.*

O grande avanço nas pesquisas sobre a Teoria Cinética dos Gases data do trabalho de 1857, de Clausius, sobre um modelo dinâmico dos gases. Supondo que todas as moléculas tinham energia proporcional à temperatura, demonstraria a lei de Charles e escreveria que "a energia de uma molécula era igualmente repartida segundo os seus graus de liberdade interna" (lei da equipartição da energia). Note-se que esse princípio havia sido tratado, no ano anterior, por August Karl Krönig (1822-1879), ao estabelecer que a energia das moléculas se repartia igualmente entre as diversas formas de seus movimentos (translação, rotação, vibração, etc). No ano seguinte, Clausius demonstraria que uma molécula de gás viaja uma certa distância média antes de colidir com uma outra, distância que depende do tamanho da molécula e de seu número em determinado volume[193], ou seja, um valor médio das distâncias separando duas colisões sucessivas de uma molécula. Esse conceito é conhecido como de "livre caminho médio", e já fora tratado por John James Waterston (1811-1883) em *Notas sobre a constituição dos fluidos gasosos e uma Teoria dos gases*, de 1843. Nessa obra, Waterston afirmaria que "a distância percorrida por uma molécula, após colidir com outra e antes de encontrar uma segunda, é inversamente proporcional à densidade do meio"[194].

Significativo também foi o trabalho de James Clerk Maxwell, no qual estudou (1860) matematicamente o comportamento dos gases, concluindo que as moléculas se moviam em todas as direções e com velocidades possíveis, chocando-se entre si e contra os obstáculos. Mostrou que a maioria das moléculas se moveria com velocidades intermediárias, isto é, o melhor indicador do estado de agitação interna de um gás seria a velocidade média de suas moléculas. Determinou, então, sua célebre fórmula de distribuição de velocidades das moléculas num gás, usando, para tanto, o método dos mínimos quadrados, de Gauss. Essa distribuição da velocidade é conhecida hoje como "distribuição de Maxwell". Maxwell demonstrou também a relação entre energia cinética e temperatura absoluta. A obra principal de Maxwell sobre o assunto seria o livro *Sobre a teoria dinâmica dos gases*, de 1867.

Em seus trabalhos dos anos de 1870 sobre Termodinâmica, Boltzmann estudaria os resultados das pesquisas de Maxwell, mas descartaria a restrição de isolamento, introduzindo forças externas atuando sobre os gases, inclusive a gravidade. Boltzmann generalizaria, ainda, a lei da distribuição da velocidade, de Maxwell, ao introduzir a

---

193 BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*
194 BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

função potencial da mesma, pelo que a distribuição da velocidade das moléculas é agora conhecida como "distribuição Maxwell-Boltzmann".

6.20.5 Atomismo

A divulgação do atomismo, pelo sacerdote e físico Pierre Gassendi, teria um impacto pequeno nos círculos científicos dos séculos XVII e XVIII, se bem que a teoria corpuscular merecesse o apoio de ilustres filósofos, físicos e químicos, como Bacon, Galileu, Huygens, Newton e Boyle. Durante esse período, seria o atomismo tratado como uma hipótese, já que não havia meios de sua verificação e comprovação.

O desenvolvimento do "atomismo" ocorreria a partir do final do século XVIII e início do século XIX, no domínio da Química, vindo a ser objeto de pesquisa e estudos sistemáticos na Física durante a segunda metade do século XIX.

As chamadas leis ponderais ou quantitativas, num total de três – Lei de Proust ou "das proporções definidas" (enunciada em 1801, e em forma definitiva, em 1806), Lei de Dalton ou "das proporções múltiplas" (1802), e Lei de Richter ou "de números proporcionais" (1794) –, as duas Leis de Joseph Gay-Lussac sobre volume dos gases (1802 e 1808), e a famosa Hipótese de Avogadro (1811), juntamente com a obra *A New System of Chemical Philosophy* (1808), de John Dalton (na qual afirmava a existência de átomos invisíveis e imutáveis, que podiam reunir-se para formar um átomo composto), constituem o início das pesquisas em busca da descoberta da constituição e propriedades da matéria. A busca na correspondência entre cada elemento e cada tipo de átomo, ou seja, na igualdade entre o número de átomos e o número de elementos químicos estaria presente nas pesquisas químicas do século XIX. O químico e físico André-Marie Ampère seria o primeiro a propor, em 1814, como explicação do elemento químico formulado por Robert Boyle, em 1661, que o átomo era constituído de partículas subatômicas[195].

Passo importante para o futuro desenvolvimento da teoria atômica seria a descoberta, em 1827, do chamado "movimento browniano", pelo botânico escocês Robert Brown (1773-1858). Em 1828, a revista científica inglesa *Philosophical Magazine* publicou artigo em que Brown descrevia suas observações microscópicas, efetuadas no ano anterior, sobre partículas contidas no pólen de plantas. Observara Brown que cada grão de pólen se movia irregular e aleatoriamente.

[195] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

Experimentos com outras espécies de substâncias orgânicas e inorgânicas confirmavam esse mesmo movimento estranho e irregular, o que afastava qualquer possibilidade de explicação biológica. O movimento browniano permaneceria um total mistério até os anos de 1860/70, quando se começou a associar tal movimento ao movimento de moléculas da água, o que significava, também, aceitar a existência das próprias moléculas. O físico italiano Giovanni Cantoni (1818-1897) afirmou, em 1867, que o movimento browniano resultava da agitação desordenada das moléculas da água, produzida pelo calor; em 1877, os jesuítas e físicos belgas Ignace J. Carbonelle (1829-1889) e Joseph Desaulx (1828-1891) reiterariam os mesmos argumentos de Cantoni. O físico Bodoszewski observaria, em 1881, pela primeira vez, o movimento browniano em gases[196]. A explicação definitiva sobre o movimento browniano seria dada apenas no século XX por Einstein.

No mesmo ano do artigo sobre a descoberta do movimento browniano, o físico alemão Gustav Theodor Fechner (1801-1887) propôs um modelo em que o átomo consistia de uma parte central maciça que atraía gravitacionalmente uma nuvem de partículas quase imponderáveis.

Novo passo importante, no domínio da Química, para o entendimento da matéria, seria a célebre apresentação por Stanislao Canizzaro (1826-1910), no famoso Congresso Internacional de Química, em Karlsruhe (setembro de 1860), quando retomou o trabalho de Avogadro e definiu a molécula como um conjunto de átomos. A descoberta de novos elementos; a apresentação da famosa estrutura fechada, em forma hexagonal, para a molécula do benzeno (1865), pelo químico alemão Friedrich August Kekulé von Stradonitz; as tentativas de classificação segundo o peso atômico (Chancourtois, Meyer, Newlands); a relação entre massa atômica do elemento e suas propriedades; a tabela periódica (1869), de Mendeleiev, e a ordem da massa atômica; os trabalhos do químico e físico francês François Marie Raoult (1830-1901) sobre o congelamento das soluções, com o aperfeiçoamento de novo método de determinação das massas atômicas e moleculares[197]; e a tese iônica (1884) de Svante Arrhenius sobre a constituição dos eletrólitos por partículas carregadas de eletricidade, foram algumas das decisivas e essenciais descobertas no domínio da Química sobre a constituição e propriedade das moléculas na segunda metade do século XIX, que contribuiriam para o grande desenvolvimento das pesquisas no campo da Física sobre o átomo.

---

[196] BASSALO, José Maria. *Nascimentos da Física.*

[197] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

Como escreveu Ben-Dov,

> durante a maior parte do século XIX, os teóricos do calor tinham alcançado sucessos notáveis com a ajuda de teorias formuladas em termos de grandezas físicas observáveis: a temperatura, a pressão, o volume, a quantidade de calórico, a energia e a entropia. A Termodinâmica parecia, portanto, ter todo interesse em se ater a esse tipo de grandezas físicas e a guardar distância da hipótese atomista que, no caso, se revelava bastante estéril[198].

Somente na segunda metade do século XIX, viriam alguns físicos a se interessar pela teoria atomista, em reforço da interpretação do calor pela teoria mecânica, isto é, pelo movimento de partículas materiais.

Em 1857, Rudolf Clausius apresentaria um modelo dinâmico dos gases, no qual supunha que todas as moléculas tinham uma energia proporcional à temperatura, e apresentava a lei de equipartição da energia.

Em 1860, James Clerk Maxwell enunciaria a "lei de distribuições de velocidade", pela qual o estudo de um sistema composto de grande número de átomos (gases, por exemplo) não requereria o cálculo explícito da trajetória de cada átomo. A determinação do estado do sistema, em termos de grandezas pertinentes, como temperatura e pressão, exigiria somente conhecer o "comportamento médio das moléculas". Tal cálculo do comportamento médio, sendo mais simples e fácil que o da trajetória de cada um dos átomos, pressupunha que cada um deles obedecia às leis da Mecânica newtoniana, e que a termodinâmica dos gases podia ser deduzida desses cálculos estatísticos. Importante também era que o trabalho de Maxwell baseava-se na existência de átomos, ou seja, o gás seria um conjunto de átomos (ou de moléculas) que se deslocariam livremente no espaço e sofreriam colisões ocasionais com outros átomos ou com as paredes que os contêm. Trabalhos subsequentes de Maxwell e de Ludwig Edward Boltzmann, reconhecido como um dos grandes defensores da teoria atomista, explicariam as leis dos gases, segundo o modelo atomista[199].

A partir dos anos 1860, os "mecanicistas" defenderiam que todos os fenômenos poderiam ser explicados em termos de matéria e movimento, sendo que muitos físicos advogavam que esse movimento seria o dos átomos pelo que a Termodinâmica seria reduzível a uma mecânica atomista. O grupo dos chamados "energetistas" (Ostwald, Duhem, Mach) sustentaria, ao contrário, que todos os fenômenos, inclusive os mecânicos, seriam descritos não por movimentos de átomos, mas por troca de energia.

---

[198] BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*
[199] BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*

Como a Termodinâmica se desenvolvera baseando-se em dois princípios – o da conservação da energia e o da entropia – com total abstração da estrutura da matéria, a hipótese atomista, para ser reconhecida pela comunidade científica, deveria provar ser capaz de deduzir, igualmente, os dois princípios da Termodinâmica. O impasse entre as escolas atomista e energetista prosseguiria, no domínio da Física, por todo o final do século XIX, dada a impossibilidade da comprovação da própria existência do átomo, que poderia servir, apenas, como um artifício de cálculo. A hipótese atômica permaneceria sem verificação formal, pelo que a existência das moléculas, provável para alguns, não seria demonstrada sem uma contestação possível[200].

O "triunfo" do atomismo ocorreria no início do século XX, após uma série de descobertas e pesquisas, dentre as quais podem ser citadas: 1) os trabalhos de Julius Plücker (1858), Wilhelm Hittorf (1869), Cromwell Varley (1871) e William Crookes (1879) sobre os raios catódicos e a emissão de corpúsculos de eletricidade; 2) a descoberta, em 1896, por Antoine Becquerel (1852-1908), da radioatividade natural, e em 1899, de que a mesma se tratava de uma emissão de partículas eletricamente carregadas; 3) a descoberta, em 1897, por Joseph John Thomson, da primeira partícula, o elétron, após experiências com tubos de gás a baixa pressão, comprovando o aparecimento de partículas nas cargas elétricas negativas, que haviam sido retiradas dos átomos. O elétron seria cerca de 1800 vezes menor que o átomo, concluindo que o átomo não era indivisível, mas composto por partículas. Note-se que o termo elétron fora cunhado pelo físico irlandês George Stoney, em 1891, como designação para o valor mínimo que deveria ter a carga elétrica de uma partícula eletrizada; 4) o chamado "efeito Zeeman", descoberto pelo físico holandês Pieter Zeeman (1865-1943, PNF- 1902), em 1896, confirmando a teoria de Hendrik Antoon Lorentz, de 1892, quanto à ação do campo magnético sobre as linhas espectrais, isto é, a luz é emitida por partículas em movimento dentro do átomo, e o campo magnético perturbaria esse movimento[201]; 5) a descoberta, por Ernest Rutherford (1871-1937, PNQ- 1908), em 1897, de dois tipos de partículas: a "alfa", formada por átomos de hélio com carga positiva, e a "beta", elétrons de carga negativa. A deflexão magnética das partículas alfa e beta foi observada em 1899, por Rutherford. O raio "gama", neutro, seria descoberto por Paul Villard (1860-1934), em 1900, radioatividade que não era afetada por campo magnético; 6) a explicação quantitativa por Einstein, em 1905, do movimento browniano, como devido a flutuações da densidade das

[200] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*
[201] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

moléculas do líquido ou do gás; 7) o cálculo do número de Avogadro, isto é, do número de átomos contidos num grama de hidrogênio. Cálculos efetuados por diversos físicos (Johann J. Loschmidt, George Stoney, Max Planck, Jean Perrin) com diferentes métodos davam, praticamente, o mesmo número, próximo de 6.10^{23} (um seguido de 23 zeros) átomos por grama de hidrogênio. Como escreveria Perrin, "temos duas possibilidades: ou bem negamos a existência dos átomos e atribuímos a convergência dos resultados do cálculo do número de Avogadro ao acaso; ou bem, opção mais sensata, concluímos pela existência do átomo, e damos, assim, um sentido físico claro ao número de Avogadro"[202].

Diante de tais avanços, o físico francês Paul Langevin (1872-1946) declararia, em 1913, que "a mudança profunda que se produziu na Física é caracterizada, sobretudo, pela penetração, em todos os domínios de nossa ciência, da noção fundamental de descontinuidade. Devemos hoje fundamentar nossa concepção do Mundo e nossa previsão dos fenômenos sobre a existência das moléculas, dos átomos e dos elétrons"[203].

6.20.6 Radioatividade

Sob esse título genérico, será examinada a evolução das pesquisas e descobertas em três áreas específicas e afins: raios catódicos, raios-X e radioatividade. A mútua influência dessas experiências e o estreito vínculo entre esses fenômenos justificam plenamente essa abordagem, ainda que, por motivo expositivo, se tenha adotado o critério cronológico do início da pesquisa, isto é, primeiro os raios catódicos, depois os raios-X, e, finalmente, a radioatividade propriamente dita.

6.20.6.1 Raios Catódicos

Desde as máquinas eletrostáticas, eram conhecidas as colorações produzidas pelas descargas elétricas através de gases rarefeitos. Assim, pode-se começar a história da descoberta dos raios catódicos com a invenção das máquinas que permitiriam as correspondentes pesquisas. Em 1851, o mecânico e eletricista alemão Heinrich Daniel Rühmkorff (1803-1871) inventaria a bobina de indução capaz de produzir centelhas de comprimentos moderados e tornando possível obter tensões elevadas.

202 BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*
203 ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

Ao mesmo tempo, as máquinas de produzir vácuo eram aperfeiçoadas. Em 1855, o físico alemão Johann Heinrich Geissler (1814-1879) inventou uma bomba de vácuo em partes móveis, com a qual construiu tubos rarefeitos, denominados tubos de Geissler, que seriam utilizados pelo matemático e físico alemão Julius Plücker (1801-1868) em suas pesquisas sobre descarga elétrica. Em 1858, Plücker descobriria que "raios oriundos do cátodo" eram desviados pelo campo magnético.

Em 1869, o químico e físico alemão Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) registrou seus experimentos com tubos de Hittorf, de vácuo mais rarefeito que o tubo de Geissler, confirmando a descoberta de Plücker, de que o "cátodo enviava raios". O físico inglês Cromwell Fleetwood Varley (1828-1883) seria pioneiro com as primeiras evidências, em 1871, de que os raios oriundos do cátodo eram carregados negativamente. Pouco depois, William Crookes construiu (1875) tubos rarefeitos que permitiam obter uma pressão interna 75 mil vezes menor que a do tubo de Geissler, criando, assim, condições para a melhoria da qualidade das pesquisas. Às tais emanações provenientes do cátodo do tubo de vidro, deu Eugen Goldstein (1850-1931) o nome de raios catódicos. Cabe mencionar aqui ter o mesmo Goldstein descoberto, em 1886, outra forma de raios, emitidos do ânodo (eletrodos positivos), denominando-os raios canais. O próprio Crookes usaria (1879), em suas experiências com raios catódicos, seu dispositivo, que continha duas placas metálicas ligadas a uma fonte de tensão elétrica; a placa ligada ao polo negativo é o cátodo, e a outra, ligada ao polo positivo, é o ânodo; quando a tensão entre o cátodo e o ânodo fica bem elevada surge um feixe luminoso (raio catódico) que sai do cátodo e atravessa o tubo. Em suas pesquisas, pôde observar Crookes, a partir de um vácuo de poucos milímetros de mercúrio, o desaparecimento da luminosidade geral do tubo, salvo na parede oposta ao cátodo (polo negativo) que, então, se aquecia, apresentando fluorescência esverdeada[204].

Em suas experiências de 1892, Hertz concluiu que os raios catódicos não eram constituídos de matéria, sendo, portanto, ondas eletromagnéticas, no que foi apoiado por Goldstein, contra a opinião de Crookes, que defendia o caráter corpuscular desses raios. Em 1894, o físico húngaro-alemão Philip Eduard von Lenard (1862-1947, PNF-1905) realizou experiências com raios catódicos, utilizando as ampolas de Crookes, nas quais abriu janelas de alumínio – janelas de Lenard –, pelas quais o cátodo era iluminado com radiações eletromagnéticas. Jean Perrin (1870-1942, PNF de 1926) realizou experiências, em 1895, nas quais demonstrou que os raios

[204] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

catódicos eram partículas carregadas negativamente, ou seja, corpúsculos de eletricidade negativa, os elétrons, enquanto os raios canais eram carregados positivamente. Joseph John Thompson (1856-1940, PNF-1906), descobridor do elétron, se pronunciaria, também, em 1897, a favor da natureza corpuscular dos raios catódicos.

O físico alemão Karl Ferdinand Braun (1850-1918, PNF de 1909) inventou, em 1897, o osciloscópio de raios catódicos, mais tarde conhecido como tubo de Braun, com o qual podia observar o caminho dos elétrons como uma "incandescência" na "tela" fluorescente (como, por exemplo, sulfeto de zinco)[205]. Finalmente, em 1899, Antoine Henri Becquerel (1852-1908, PNF de 1903) publicaria trabalho no qual mostraria que as partículas "beta" eram raios catódicos, isto é, elétrons.

6.20.6.2 Raios-X

A descoberta dos Raios-X, em 1895, pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923, PNF de 1901), reitor da Universidade de Wurzburg, ocorreu durante suas pesquisas com as ampolas de Crookes sobre os raios catódicos. No dia 8 de novembro de 1895, quando ligou o tubo para mais um experimento, notou Roentgen que, perto do tubo, uma placa de um material fluorescente, chamado "platino cianeto de bário", brilhou. Ao desligar o tubo, o brilho desapareceu; ao religá-lo, o brilho voltou, mesmo quando colocados um livro e uma folha de alumínio entre o tubo e a placa. Algo saía do tubo, atravessava as barreiras e atingia o platino cianeto. Por seis semanas, Roentgen tentou entender, sem sucesso, o que acontecia em sua experiência com os raios catódicos. No dia 22 de dezembro, fez a radiação atravessar, por 15 minutos, a mão de sua mulher, Berta, atingindo, do outro lado, uma chapa fotográfica. Revelada a chapa, apareciam nela as sombras dos ossos da mão de Berta, o que viria a ser a primeira radiografia da História. Sem compreender, ainda, o misterioso raio, decidiu chamá-lo de "X", símbolo usado em Ciência para designar o desconhecido. Ao comunicar a seus colegas da Universidade de Wurzburg sua notável descoberta, a notícia vazou para a imprensa, no dia 5 de janeiro de 1896, vindo a causar imensa e imediata sensação, tanto no círculo científico quanto na opinião pública em geral. Os raios-X seriam, no mesmo ano, adotados pelos médicos, que os utilizariam em ortopedia e exame de órgãos internos doentes.

Roentgen percebeu que os raios-X projetavam sombras em filmes fotográficos, não podiam ser desviados por ímãs, se propagavam em linha

[205] BASSALO, José Maria. Nascimentos da Física.

reta, atravessavam o corpo humano, madeira, metal, etc., e se assemelhavam à luz, isto é, onda eletromagnética. A demonstração de serem os raios-X um tipo de radiação eletromagnética invisível foi obra, em 1912, do físico Max von Laue (1879-1960, PNF em 1914)[206], que, dada a impossibilidade de as refratar, admitiu fossem elas de frequência milhares de vezes maior do que a própria luz. Para medir tão curtas ondas, mediante sua difração, era necessário um retículo com milhões de raias por milímetro, o que levou Laue a recorrer aos retículos dos cristais naturais. O sucesso da experiência mostrou a estrutura cristalina e a natureza eletromagnética (luminosa) dos raios-X[207]. Onda de comprimento muito pequeno, se encontram os raios-X no espectro eletromagnético na região entre os raios-gama e raios ultravioletas.

6.20.6.3 Radioatividade

A repercussão internacional da descoberta dos raios-X, por Roentgen, anunciada em princípios de janeiro de 1896, causaria sensação na Academia de Ciências da França, quando, no dia 20 do mesmo mês, o matemático e físico francês Jules Henri Poincaré (1854-1912) apresentou as primeiras radiografias enviadas por Roentgen. Por sugestão de Poincaré, Henri Becquerel, que assistira à mencionada reunião da Academia de Ciências, e que estava estudando a fluorescência (brilho) de certos sais na presença de raios ultravioletas, foi encarregado de examinar a conclusão de Poincaré de que o fenômeno dos raios-X era devido à fluorescência do composto fosforescente empregado por Roentgen na placa de vidro[208].

Os experimentos de Becquerel começaram com cristais de sulfato de urânio-potássio (uranilo), que observara serem capazes de impressionar uma chapa fotográfica, mesmo recoberta com papel escuro, estando o conjunto exposto ao Sol. A explicação seria que a luz solar provocava fluorescência nos cristais de uranilo, com a emissão de raios-X, que, por sua vez, ao atravessarem o papel escuro que envolvia os cristais, impressionavam a chapa fotográfica. Apesar de ter preparado uma série de placas para repetir a experiência, Becquerel teve de adiar, por causa do mau tempo, sua programada experiência, deixando as placas, envoltas em papel escuro, próximas a cristais de uranilo no fundo de uma gaveta. Dias depois, ao desembrulhar uma das chapas para verificar se um resíduo de fosforescência tinha sido impresso, constatou que a imagem do cristal na placa era tão nítida

[206] CHERMAN, Alexandre. *Sobre os Ombros de Gigantes.*
[207] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[208] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

quanto aquela exposta ao Sol. Em vista disto, concluiu que os cristais de uranilo emitiam uma nova espécie de raio, que denominou de raio urânico, até então desconhecido. Estava descoberta a radioatividade, acontecimento cuja repercussão, na época, mesmo no círculo científico, foi bastante pequena, talvez por ter sido entendido como nova versão dos raios-X[209].

No final de 1897, a química polonesa Marie Sklodowska Curie (1867-1934, PNF em 1903, PNQ em 1911) escolheu como tese de seu doutoramento os raios de Becquerel. Começou a estudar a intensidade desses raios em resíduos de óxidos de urânio (pechblenda), sais inativos, óxidos de tório e calcolita (duplo fosfato de urânio e cobre), de modo a determinar se outras substâncias, além do urânio, eram radioativas. Nesses estudos, Marie Curie usou a piezeletricidade, cuja corrente elétrica gerada era detectada por um eletrômetro, construído por Pierre Curie. Em 12 de abril de 1898, Marie Curie registrou a descoberta da radioatividade do tório e a observação de que os dois minérios de urânio (pechblenda e calcolita) eram mais ativos que o próprio urânio, pelo que concluiu que tais minérios deveriam ter outros elementos radioativos, além do urânio. Nessa mesma oportunidade, Marie Curie cunhou o termo "radioatividade", que seria inerente a determinados elementos, e não dependia, portanto, de reação externa.

A conclusão estava correta, pois havia naqueles minérios elementos radioativos até então desconhecidos[210]. Prosseguindo nas pesquisas com a pechblenda e a calcolita, três meses depois o casal Curie (Marie e Pierre) anunciou (18 de julho de 1898) a descoberta de um novo elemento radioativo, similar ao bismuto, o polônio, assim designado em honra à terra natal de Marie Curie. Em dezembro desse mesmo ano, o casal Curie e o químico Gustave Bémont (1857-1932) anunciaram a descoberta de outro elemento radioativo, similar ao bário, ao qual deram o nome de rádio.

6.21 Química

A revolucionária transformação da Química, a partir do final do século XVIII, com a obra de Lavoisier, e do início do século XIX, com as leis quantitativas (Richter, Proust, Dalton e Gay-Lussac), criaria as condições favoráveis para o fantástico desenvolvimento da nova Ciência que, em bases quantitativas, experimentais e positivas, estudaria a matéria, em sua estrutura e composição, suas propriedades e transformações, bem como as leis que a regem. Na realidade, fundada a Química moderna,

[209] GRIBBIN, John. *Science, a History.*
[210] CHERMAN, Alexandre. *Sobre os Ombros de Gigantes.*

por Lavoisier (*Tratado Elementar de Química*, 1789), seu avanço científico foi imediato, beneficiada por ter sido criada sob a égide do racionalismo e da positividade do Iluminismo, com o consequente abandono de teorias, conceitos e métodos, que, vigentes desde a Antiguidade Clássica, impediam seu pleno desenvolvimento.

A Química se firmaria, ao longo do século XIX, como um novo e dinâmico domínio da Ciência. Nesse processo, a inovação conceitual (valência, isomorfismo, isomeria, molécula, radical), a formulação teórica (atomismo, dualismo, das substituições, dos tipos), o aperfeiçoamento analítico (métodos experimentais e instrumentos de pesquisa), a ampliação do âmbito de ação (Química Orgânica, Bioquímica), a descoberta de novos elementos e a Tabela Periódica, a harmonização e a sistematização da nomenclatura (símbolos e notação), e a aplicação tecnológica (indústria química) lhe permitiriam recuperar o atraso em relação a outras Ciências, em plena fase de renovação e transformação, e se constituir numa atividade científica independente e prestigiosa.

Uma série de importantes e significativos avanços nos estudos teóricos e nas pesquisas justifica a opinião de muitos historiadores de ser esse o grande período da Química, aberto após a rejeição da teoria do calórico, a nova conceituação de elemento, a explicação da combustão e o advento da eletrólise.

Teoria vigente no século XVIII sustentava ser o calórico a substância inodora e imponderável causadora do calor. Lavoisier o inscreveu como um corpo simples, em sua nomenclatura química. Dalton, em sua lista de 20 elementos e 17 substâncias compostas, omitiria o calórico, bem como Berzelius, em suas diversas tabelas de pesos atômicos. O abandono dessa teoria, no início do século, representaria um importante progresso conceitual em relação ao passado recente, e um dos pontos essenciais para a evolução da Química e da Física, abrindo caminho para a futura Termodinâmica.

A constituição da Química Orgânica, ou dos compostos de carbono, a partir da síntese, em laboratório, da ureia, por Friedrich Wohler, em 1828, quando, pela primeira vez, foi produzido um composto orgânico de uma substância inorgânica, tem um significado especial que transcende os limites da Química. Além de criar um imenso campo de investigações, e de abrir perspectivas de sua aplicação a serviço da sociedade, a Química Orgânica implicaria, de imediato, o abandono da milenar doutrina do "vitalismo", segundo a qual todo o ser vivo (animal e vegetal) seria a expressão de uma "força vital" ou de um "sopro divino".

No domínio da Química Inorgânica, a construção da célebre Tabela Periódica dos Elementos, por Dmitri Mendeleiev, em 1869, significou um

extraordinário progresso no entendimento da constituição e das propriedades dos 63 (sessenta e três) elementos conhecidos na época, ao descobrir que suas propriedades se repetiam numa série de intervalos periódicos.

O notável, amplo, inovador e fecundo desenvolvimento da Química seria uma das mais significativas marcas da Ciência no século XIX. Tal evolução, contudo, não se deu de forma linear, programada, coerente e ordenada. Período de descobertas, inovações, reformas, formulações e reformulações, a evolução da Química ensejou a famosa polêmica e controvérsia entre correntes de pensamento no exame de certas questões cruciais, como a da "continuidade da matéria" e a da "constituição dos elementos". Adeptos dos campos opostos do atomismo e da equivalência se enfrentariam com argumentos e contra-argumentos cuja validade era contestada pela impossibilidade de verificação experimental.

O célebre Primeiro Congresso Internacional de Química, em Karlsruhe (1860), teve o propósito principal de obter um acordo entre as partes na controvérsia. Irreconciliáveis, fracassou o intento, mas, Canizzaro, retomando a obra de Avogadro (1811), apresentaria nessa oportunidade a distinção entre átomo e molécula, passo essencial para esclarecimento da estrutura dos elementos e da matéria. Apesar do imenso progresso no entendimento desses temas, somente no início do século XX, seriam dadas as respostas adequadas e completas para a compreensão da realidade da matéria. A controvérsia não teria, contudo, impacto negativo nos estudos teóricos e experimentos laboratoriais, como evidenciam os extraordinários avanços na Química Inorgânica (ou Mineral), a criação e o notável desenvolvimento da chamada Química Orgânica, e a diversificada contribuição da Química Tecnológica para o progresso industrial e social do Mundo contemporâneo.

Marco fundamental no desenvolvimento da Química do século XIX seria a formulação da Tabela Periódica dos Elementos, por Mendeleiev, a qual serviria de base e direção para os futuros estudos sobre os elementos.

No estudo da evolução da Química, capítulo à parte deve ser dedicado à chamada Química Analítica, cujo constante progresso, ao longo do período, permitiria o desenvolvimento das pesquisas em bases científicas experimentais.

Outro aspecto relevante a ser consignado na História da Química é seu estreito vínculo com outras Ciências, em particular a Física e a Biologia, o que lhes seria mutuamente benéfico. A chamada "Físico-Química" é um amplo campo, formado pela eletroquímica, cinética química e termoquímica, que se mostrou altamente proveitoso para a expansão das pesquisas químicas e responsável, inclusive, pelo isolamento de novos elementos. O papel

desempenhado pela eletrólise deve ser aqui registrado. A área compartilhada com a Biologia, denominada de Bioquímica, já apresentaria importantes e pioneiros resultados em diversos domínios, como os da Fisiologia, do metabolismo e da nutrição. Cabe mencionar, ainda, a contribuição fundamental da Química à Medicina, que se daria a partir da segunda metade do século XIX por meio da Química farmacêutica, um dos setores mais dinâmicos da Química Industrial, e origem do imenso progresso no tratamento terapêutico das enfermidades com a fabricação de produtos, via síntese.

Outro aspecto a ser comentado na evolução da Química no século XIX se refere às condições gerais e características do desenvolvimento das atividades e da disseminação do seu conhecimento.

Três períodos podem ser estabelecidos para melhor compreensão da sua evolução nesse século: o das primeiras décadas, com a formulação da teoria atômica, a criação da Química Orgânica, a sistematização da nomenclatura e a indiscutível supremacia da França como polo das pesquisas mundiais; o de meados do século, que corresponderia ao desenvolvimento da Química Analítica, aos avanços conceituais na Química Orgânica e Inorgânica e à criação da Tabela Periódica dos Elementos; e o do final de século, relativo ao desenvolvimento da Química Industrial, à inegável liderança mundial da Alemanha no terreno teórico e aplicado, à crescente aceitação da teoria atômica, ao continuado avanço no campo conceitual e aos estreitos vínculos da Química com outras Ciências, em particular a Física e a Biologia.

No início do século, graças a Lavoisier e a outros grandes químicos de sua geração (Fourcroy, Berthollet, Guyton de Morveau) e aos seus sucessores imediatos (Courtois, Gay-Lussac, Proust, Chevreul, Vauquelin, Dumas) a França, ou, mais precisamente, Paris, era o centro mundial da Química, onde iam estudar e pesquisar em seus laboratórios estudantes estrangeiros de diversas nacionalidades. Atividade centralizada e supervisionada pela Academia de Ciências, as pesquisas se concentravam na capital francesa, já que os laboratórios e as universidades do interior do país não dispunham de adequados recursos financeiros para desenvolvê-las.Essas graves limitações teriam consequências negativas, no longo prazo, na medida em que redundariam na perda, pela França, dessa posição privilegiada de centro principal europeu de estudos, pesquisas e atividades em Química. A Itália (Avogadro), a Grã-Bretanha (Nicholson, Tennant, Dalton, Wollaston, Davy), a Alemanha (Klaproth, Seebeck, Dobereiner, Liebig, Wöhler), a Bélgica, os Países Baixos e a Suécia (Hisinger, Ekeberg, Berzelius) eram igualmente ativos, com diversas importantes contribuições, mas sem afetar a indiscutível supremacia francesa.

Nesses primeiros decênios do século, a personalidade dominante seria a do químico sueco Jöns Berzelius. Publicações especializadas, algumas de vida curta, divulgariam relevantes pesquisas nas áreas da Física e da Química, como as de Poggendorf e Schweigger. Os *Anais de Farmácia*, fundado por Liebig, em 1832, viria a se chamar, com sua morte, *Anais de Química de Justus Liebig*, a mais prestigiosa publicação sobre Química na metade do século; a revista hoje é especializada em Química Orgânica, mantendo-se como importante veículo disseminador das atividades nesse domínio.

Em meados do século, Jean Baptiste Dumas, na França, e Justus Liebig, na Alemanha, seriam os químicos mais influentes, com notáveis contribuições para a Química Orgânica e Inorgânica. Wöhler, Prout, Pelletier, Mitscherlich, Graham, Dulong, Laurent e Gerhardt, entre outros, foram, igualmente, pioneiros em seus estudos teóricos e em suas pesquisas laboratoriais, cujo conjunto de suas respectivas obras seria de grande importância para o desenvolvimento da Química moderna. Nesse período se desenvolveria a Química Orgânica descoberta por Wöhler, e seria criada a Tabela Periódica dos Elementos, por Mendeleiev, enquanto prosseguia a polêmica sobre a teoria atômica.

Politicamente dividida em pequenos reinos, a Alemanha se desenvolveu, em termos culturais e científicos, por toda a região da Confederação, cujas cidades possuíam suas próprias universidades e os cientistas se encontravam espalhados por todos os reinos, num modelo completamente diferente do centralizado da França. O grande impulso para o extraordinário desenvolvimento da Química na Alemanha seria devido ao pioneirismo de Justus von Liebig, que, depois de estudar em Paris com Dumas, construiria, na Universidade de Giesen, onde era professor, o primeiro laboratório de ensino de Química, em que os alunos recebiam um treinamento organizado sobre métodos de pesquisa. O clássico modelo "professor-aluno" era substituído por um sistema no qual o professor apresentava o tema a ser pesquisado e os alunos se encarregavam de levá-lo adiante em suas diferentes fases. Em pouco tempo, o sistema Giessen seria adotado em outras universidades alemãs, cujas cátedras seriam ocupadas por ex-estudantes de Liebig. Quando de sua reunificação (1870), já contava a Alemanha com um número maior de químicos que a França, os quais, por sua vez, eram disputados pelos laboratórios da nascente indústria química. Ao mesmo tempo, o grande número de técnicos de laboratórios, formados nos muitos centros especializados de formação de pessoal, seria um elemento adicional para explicar a liderança assumida pela Alemanha na segunda metade do século XIX.

Importante novidade, em meados do século, que contribuiria para a disseminação da Química, por meio de debate, conferências e estudos, seria a criação de associações e sociedades nacionais dedicadas, especificamente, a esse fim. A primeira do gênero foi a Sociedade Química da Inglaterra, fundada em 1841, que passou a publicar seu *Journal* em 1847. O exemplo seria seguido em outros países: Sociedade Química de Paris (1857), com seu *Boletim* (1858); a Sociedade Química Alemã (1867), com seu *Boletim* (1867); a Sociedade Química Russa (1868), com sua *Revista* (1869); a Sociedade Química Italiana (1871), com sua *Gazeta* (1871); e a Sociedade Química Americana (1876), com seu *Journal* (1879). Todas essas publicações continuam a ser editadas.

É desse período o Primeiro Congresso Internacional de Química, realizado em Karlsruhe, de 3 a 5 de setembro de 1860, por iniciativa de August Kekulé, e assistida por 140 renomados químicos da época (Bechamp, Boussingault, Wurtz, Cannizzaro, Frankland, Anderson, Roscoe, Kekulé, Liebig, Wohler, Bunsen, Mitscherlich, Erlenmeyer, Erdmann, Meyer, Mendeleiev), com o objetivo de resolver o impasse entre os defensores e os detratores da teoria atômica. Apesar do fracasso quanto à conciliação, o Congresso é um marco na História da Química, pois seria o início de uma profícua cooperação internacional.

No final do século, prosseguiriam, com intensidade, as atividades de pesquisas, descobertas, estudos teóricos e de Química Industrial, tornando-se a Química uma Ciência prestigiada pela comunidade científica, pelas empresas públicas e privadas, pelo Estado, pelas universidades e pelo público em geral. A Alemanha, na liderança mundial nos diversos ramos dessa Ciência, seria a principal propulsora do contínuo e acelerado desenvolvimento da Química, seguida pela França, Grã-Bretanha, Países Baixos, países escandinavos, Suíça, Itália e Rússia. A Química continuaria, no século XIX, a ser uma Ciência exclusiva e praticamente europeia.

Nomes de químicos de grande valor, responsáveis, em parte, pelo significativo avanço ocorrido, ilustram o período, como Wurtz, Stas, Frankland, Canizzaro, Thomsen, Berthelot, Kekulé, Van der Waals, Hoffmann, Raoult, Waage, Solvay, Mendeleiev, Van't Hoff, Arrhenius, Ostwald, Strutt, Ramsay, Marie Curie e Fischer.

Revistas especializadas em ramos específicos, como Química Orgânica (Liebig), Química Inorgânica, Físico-Química (Ostwald) e Bioquímica, surgiriam, inicialmente na Alemanha, para logo depois ser a iniciativa seguida em outros países.

A evolução da Química no século XIX será tratada em 4 itens principais: Análise Química, Química Inorgânica (Nomenclatura e Simbologia, Elementos e Tabela Periódica, e Atomismo), Química

Orgânica (Antecedentes e Vitalismo, Descoberta e Desenvolvimento, Estrutura Molecular, Nomenclatura), Vínculos com Outras Ciências (Físico-Química e Bioquímica).

6.21.1 Análise Química

Ciência baseada na quantificação, experimentação, demonstração e comprovação, o processo evolutivo da Química prosseguiria com a crescente atividade de pesquisa facilitada pelas inovações metodológicas e pelos aperfeiçoamentos dos instrumentos de investigação laboratorial. A Análise, ou decomposição, tão enfaticamente defendida por Lavoisier, seria uma metodologia difundida e adotada pela comunidade química nos seus trabalhos de pesquisa, responsáveis, em boa parte, pelo extraordinário desenvolvimento da Ciência. O importante avanço na Análise Química, ao longo do período, estaria vinculado e, até certo ponto, dependente da melhoria e aperfeiçoamento dos instrumentos utilizados nas investigações, como fornos, alambiques, foles, cadinhos, tubos de ensaio, pipetas e balanças, de uso corrente desde a época dos alquimistas.

Graças ainda a Lavoisier, a balança se transformaria, por seu uso sistemático ao longo da pesquisa, no mais importante instrumento de Análise Química. A melhoria da sua qualidade, em termos de precisão e de inovações, devido à mudança radical de obra artesanal em produto industrial, fabricado, a partir de meados do século, por empresas especializadas, teria um impacto positivo no processo investigativo. A maior precisão das balanças permitiria acurada Análise quantitativa por meio de metodologia científica, inclusive na determinação da proporção dos componentes nos compostos.

Assim, viriam a ser descobertos, entre outros, os óxidos de zircônio, urânio, telúrio e titânio, bem como o metal cromo e os elementos paládio (Pd), ródio (Rh), ósmio (Os) e rênio (Re). Os alemães Martin Heinrich Klaproth (1743-1817) e Karl Friedrich Mohr (1806-1879), o francês Louis Nicolas Vauquelin (1763-1829), os ingleses William Hyde Wollaston (1766-1828) e Smithson Tennant (1761-1815) e o russo Karl Karlovitch Klaus (1796-1864) se notabilizaram por seus trabalhos nessa área[211]. Contribuição importante à Análise seria devida a Jons Jakob Berzelius (1779-1848), envolvido, desde o início do século, na determinação exata do peso atômico dos elementos. Pelo método da fusão de potássio com óxidos metálicos, isolaria Berzelius o silício e o zircônio, em 1844, o titânio em 1825 e o tório em 1828. Esse mesmo

[211] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

método seria aplicado por Antoine Alexandre Bussy (1794-1882) para isolar o magnésio (Mg) (1831) e o berílio (Be) (1828), este último também isolado, ao mesmo tempo, por Friedrich Wohler (1800-1882).

Paralelamente à Análise gravimétrica, evoluiria, igualmente, desde meados do século XVIII, a chamada Análise volumétrica, relativa a soluções, seus equipamentos de vidro (cilindros graduados, pipetas, buretas) e técnicas associadas. Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) seria pioneiro, a partir de 1824, na Análise volumétrica sobre titulação quantitativa de ácidos e bases, bem como Mohr, autor de *Tratado do Método Titrimétrico de Análise Química*, que desenvolveu o uso de substâncias padrão na alcalimetria (ácido oxálico) e na oxidimetria (sal de Mohr, sulfato ferroso amoniacal) e foi responsável, ainda, por muitos aperfeiçoamentos de instrumentos e métodos. Outro método, conhecido como iodometria, de Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899), foi desenvolvido para a determinação quantitativa de agentes oxidantes.

A Análise Química teria notável desenvolvimento nos últimos decênios do século, com o aperfeiçoamento dos vidros ópticos, que permitiriam melhor qualidade dos refratômetros, espectroscópios, polarímetros e microscópios. A Espectroscopia, desenvolvida por Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff em 1859, levaria à descoberta de elementos – rubídio (Rb), césio (Cs), índio (In), tálio (Tl), hélio (He), argônio (Ar) – e à determinação da composição química das estrelas; os polarímetros, cuja técnica utiliza a polarização da luz, seriam aperfeiçoados por William Nicol (1768-1851) com o emprego de prisma especial e adotados na Análise de alimentos, particularmente na determinação de sacarose. Os microscópios seriam melhorados a partir de 1820 e passariam a ser usados regularmente nos laboratórios químicos, principalmente após 1872 com a introdução, por Ernst Abbe (1840-1905), de um condensador de luz na parte inferior da platina do instrumento. Os refratores seriam também aperfeiçoados por Abbe, em 1860, que passariam a ser utilizados comumente na análise química orgânica[212].

A Análise eletroquímica, baseada na eletrólise, seria utilizada imediatamente após a invenção da pilha elétrica, por Alexandre Volta, em 1800, tendo Humphry Davy (1778-1819) usado tal fenômeno para isolar o sódio (Na), o potássio (K), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg), o bário (Ba) e o estrôncio (Sr). O iodo (Io) seria isolado em 1811. A eletrólise passaria, a partir de 1865, a ser usada como método de Análise Química quantitativa, após os trabalhos de Wolcott Gibbs (1822-1908) na determinação eletrolítica dos metais (cobre-Cu, níquel-Ni, bismuto-Bi, prata-Ag), e, a partir dos dióxidos, do manganês-Mn e do chumbo-Pb. O alemão Alexander Classen

[212] WOJTKOWAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

(1843-1934) introduziria aperfeiçoamentos, nesse método, constantes de sua obra sobre a Análise Química pela eletrólise[213].

6.21.2 Química Inorgânica

A Química Inorgânica é a parte da Química relativa aos processos de composição e decomposição das substâncias minerais, bem como às suas reações químicas e propriedades. Cabe, ainda, à Química Inorgânica estudar e classificar as substâncias minerais em grupos que se distinguem por certas particularidades de composição: ácidos, bases, óxidos e sais.

Desde o início, até o final do século XIX, a Química Inorgânica teria um notável desenvolvimento conceitual e investigativo, propiciado pelos fundamentos estabelecidos, no final do século anterior, por Lavoisier e pelas pesquisas e descobertas efetuadas por uma plêiade de notáveis químicos, como Macquer, Scheele, Black, Bergmann, Cavendish, Priestley, Klaproth e Berthollet.

Avanços extraordinários, em três áreas fundamentais, caracterizariam a evolução dessa parte da Química nesse período: o estabelecimento de uma linguagem comum, por meio de uma nomenclatura química universal; a elaboração da Tabela Periódica dos Elementos, que ao final do século incluiria um total de 82 (oitenta e dois) elementos naturais; e a formulação da Teoria Atômica, fonte de intenso debate e de controvérsia que dividiria a comunidade científica da época. Deve ser mencionado, também, como aspecto importante desse processo, o significativo desenvolvimento da Química Industrial inorgânica, responsável, em parte, pelo grande progresso industrial na segunda metade do século.

6.21.2.1 Nomenclatura e Simbologia Químicas

A inadequada e assistemática denominação das substâncias químicas era reconhecida, no século XVIII, como um dos entraves ao desenvolvimento da Química, pois a absoluta falta de critério impedia uma terminologia universal, acessível a todos, pondo fim ao caos imperante. Químicos de grande valor, como Bergmann, Monceau, Guyton de Morveau e Berthollet, foram pioneiros no esforço de buscar uma metodologia e uma linguagem apropriadas ao novo clima reformador (abandono de antigos conceitos e práticas) que passara a prevalecer nas investigações no final daquele século.

[213] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*

A apresentação na Academia de Ciências, por Lavoisier[214], em 1787, de *Memória*, por ele organizada e dirigida, e em seguida publicada como *Método de Nomenclatura Química*, é um marco da maior relevância na criação da Química Moderna, pois significou o surgimento das bases de critérios específicos, simples e adequados, para a designação das substâncias. A metodologia adotada seria utilizada na obra principal de Lavoisier, *Tratado Elementar de Química*, de 1789[215].

A rápida evolução e implantação da nova Química (1787-1828) exigiria dotar, com base nos critérios já delineados por Lavoisier, uma nomenclatura e uma simbologia, de caráter universal, que simplificassem a apresentação e o entendimento dos elementos simples e compostos e das fórmulas químicas.

O meteorologista inglês John Dalton (1766-1844), em seu famoso *A New System of Chemical Philosophy*, de 1808, apresentou sua teoria de que a matéria se constituía de átomos. Para tanto, criaria um sistema de símbolos que, além de representar os elementos e as substâncias compostas, indicaria, em reforço à sua teoria, seus pesos atômicos[216]. Desta forma, desde 1802, ao iniciar a formulação de sua teoria atômica, se dedicaria Dalton a essa tarefa.

Pelo sistema, cada átomo, por ser esférico, era representado por um círculo, o qual continha uma marca diferencial, sendo o peso atômico representado por um átomo de hidrogênio. Os elementos foram classificados em simples, num total de 20, com apenas um átomo, e compostos, num total de 17, como binários (5) com dois átomos, terciários (4) com três, quaternários (4) com 4, enquanto apenas um elemento com cinco, um elemento com seis e dois elementos com sete átomos. Assim, por exemplo, o oxigênio (O) era representado por uma círculo vazio, o hidrogênio (H) por um círculo com um ponto no meio, o nitrogênio (N) com um traço vertical, o carbono (C) por um círculo escuro, o enxofre (S) por duas linhas cruzadas ao meio, o fósforo (P) por uma linha bifurcada no meio, o ouro (Au) por cinco pequenos pontos ao longo da linha do círculo, a prata (Ag) pela letra S inscrita no meio do círculo, o ferro (Fe) pela letra i (de iron) inscrita, o cobre (Cu) pela letra C inscrita, e o mercúrio (Hg) por oito pequenos pontos ao longo da linha do círculo.

Dessa forma, dentre os cinco elementos binários, um átomo de água era representado por um átomo de O e um de N, ou seja, por um círculo vazio e um com um ponto no meio; e um átomo de amônia por

---

[214] FILGUEIRAS, Carlos. *O Estabelecimento da Química Moderna.*
[215] JAFFE, Bernard. *Crucibles: The Story of Chemistry.*
[216] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

um átomo de N e um de H, isto é, por um círculo com um traço vertical e um com um ponto no meio. No caso dos terciários, por exemplo, o ácido carbônico era representado por um átomo de C (um círculo escuro) e dois átomos de O (dois círculos vazios) e no dos quaternários, como o ácido sulfúrico, por um átomo de N (um círculo com um traço vertical) e três átomos de O (três círculos vazios) e o álcool por três átomos de C (três círculos escuros) e um átomo de H (um círculo com um ponto no meio)[217].

O mesmo critério seria adotado para o átomo do ácido nítrico, ou seja, composto dos três átomos do ácido nitroso (um átomo de N e dois de O) mais um átomo do gás nítrico (um átomo de N e um de O), num total de cinco átomos, bem como para o ácido acetoso, composto por dois átomos de C (dois círculos escuros) mais dois átomos de água (dois O – dois círculos vazios, e dois H – dois círculos com um ponto no meio), num total de seis átomos. O átomo do açúcar, composto de um átomo de álcool e de um de ácido carbônico, é representado pela fórmula de Dalton com os três átomos de C (círculo escuro) e um de H (círculo com um ponto no meio) – do álcool mais um átomo de C e dois de O (círculo vazio) – do ácido carbônico, num total de sete átomos (quatro de C, dois de O e um de H) [218].

O sistema de símbolos proposto não teria boa acolhida nos meios científicos pela falta de comprovação demonstrativa da teoria e pela pouca praticidade do modelo, apesar de seu autor defendê-lo, até o final, como o mais simples, objetivo e representativo da realidade da matéria.

Por essa mesma época, do início do século XIX, o químico sueco Berzelius, adepto da teoria atômica de Dalton, defendia a necessidade do estabelecimento, conforme os princípios estabelecidos por Lavoisier, de um sistema universal de nomenclatura e de símbolos químicos, que adequasse a denominação e a representação dos elementos simples e compostos à nova realidade do conhecimento químico. Crítico do modelo proposto por Dalton, Berzelius, após vários anos dedicados à tarefa de criação de um tal sistema (estudou cerca de dois mil compostos), publicaria, em 1818, seu modelo de nomenclatura e simbologia químicas, com 42 elementos, que seria revista e ampliada, em 1826, inclusive com uma tabela de pesos atômicos.

Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) foi a figura dominante da Química nos primeiros decênios do século XIX. Formado em Medicina, dedicou-se à Química, tendo sido professor do Instituto de Estocolmo (1815-1832) e eleito membro da Academia de Ciências da Suécia em 1808. Dentre suas notáveis realizações, devem ser citadas a criação da moderna simbologia química;

---

217 COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
218 LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

o aperfeiçoamento de técnicas analíticas; os avanços na eletroquímica; a determinação do peso atômico de grande número de elementos; a descoberta do cério (Ce), em 1803, do selênio (Se), em 1817, e do tório (Th), em 1828, e o isolamento do silício (SI), em 1823, do zircônio (Zr), em 1824, e do titânio (Ti), em 1825; o estudo de mais de dois mil compostos; suas pesquisas em Química Orgânica e suas investigações sobre o isomerismo e a catálise; e a classificação dos minerais pela composição química.

Cunhou os termos "catálise", "isomerismo" e "proteína". Criou a "teoria dualista", relativa a que alguns elementos seriam eletropositivos e outros eletronegativos. Escreveu, entre outras obras, *Memórias de Física, Química e Mineralogia* (1806/1818), com a colaboração de Hisinger e outros cientistas, *Ensaio sobre a Teoria das Proporções Químicas e sobre a Influência da Eletricidade na Química*, *Novo Sistema de Mineralogia* e *Tratado de Química* (1808-1818), além de um grande número de artigos em revistas especializadas.

Berzelius seria o primeiro a defender o uso de uma letra ou grupo de letras para designar os elementos. Com o intuito de evitar polêmicas nacionalistas entre denominações em diferentes idiomas (inglês, francês, alemão), propôs, desde o início, que a letra inicial maiúscula do nome do elemento, em grego ou latim, fosse utilizada para designá-lo, cientificamente. Assim, por exemplo, o hidrogênio seria representado pelo H, o oxigênio pelo O, o enxofre pelo S, o carbono pelo C, o fósforo pelo P, o iodo pelo I; no caso de dois elementos com a mesma inicial, um deles teria a designação acrescida de uma segunda letra, minúscula do nome, como Au para ouro, Cl para cloro, Ca para cálcio, Zn para zinco, Sn para estanho, Sb para o antimônio, Be para berílio e Ag para prata. Essa formulação para os elementos se aplicaria, igualmente, para os compostos simples, como o monóxido de carbono, que passaria a ser escrito CO (um átomo de carbono e um de oxigênio) e o óxido de cobre CuO (um átomo de cobre e um de oxigênio)[219].

Importante inovação seria introduzida na designação de um composto, que teria a indicação, sobrescrita, do número de átomos de um elemento presente em sua composição. Assim, a amônia passaria a ser designada NH^3 (um átomo de nitrogênio e três de hidrogênio), o carbonato de cálcio $CaCO^3$, o dióxido de carbono CO^2, o benzeno C^6H^6. Poucos anos depois, os químicos alemães Justus von Liebig e Johann Poggendorff alterariam a notação sobrescrita pela subscrita, pelo que a amônia passou a ser escrita NH_3, o carbonato de cálcio $CaCO_3$, o dióxido de carbono CO_2, o benzeno C_6H_6, e assim por diante[220].

219 LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*
220 JAFFE, Bernard. *Crucibles: The Story of Chemistry.*

O avanço sobre a nomenclatura descritiva de Lavoisier era tão evidente que seu método é, basicamente, o vigente até hoje. Assim, enquanto a nomenclatura de Lavoisier mostrava apenas que "Zinco + Ácido Hidroclórico = Cloreto de Zinco + Hidrogênio"[221], a fórmula de Berzelius indicava as proporções relativas requeridas para essa reação: $Zn + 2HCl = ZnCl^2 + H^2$. A nova fórmula simbólica química passava, deste modo, a ter uma expressão quantitativa, matemática, tornando-a mais simples, objetiva e compreensível, universalmente, o que explica sua pronta e generalizada aceitação pela comunidade química mundial.

A falta de distinção entre átomo e molécula (o trabalho de Avogadro, de 1811, não tivera repercussão no meio científico) geraria desentendimento quanto à compreensão da composição de certos compostos, criando dúvidas e polêmicas na formulação simbólica a ser utilizada. Assim, por exemplo, Dumas escrevia ácido acético como $C_8H_8O_4$, enquanto Liebig como $C_4H_8O_4$. Na medida em que progrediam os estudos sobre peso atômico (Dulong e Petit, Stas), difusão dos gases (Graham) e estrutura dos compostos orgânicos (Gerhardt e Laurent), foi possível, a partir do final do século, avançar na linguagem química simbólica.

A Sociedade Química de Londres publicaria, em 1882, *Nomenclature and Notation*, guia para prática uniforme e sistemática de notação, e, em 1892, a Conferência Internacional em Genebra estabeleceria princípios para a nomenclatura química. O trabalho sobre o tema prosseguiria no século XX, com a criação, em 1919, da "União Internacional de Química Pura e Aplicada".

6.21.2.2 Os Elementos e a Tabela Periódica

A noção moderna de elemento, devida a Lavoisier, significaria o fim da antiga teoria dos quatro elementos, que vigorava desde sua concepção na Grécia. Alguns elementos já eram conhecidos desde a Antiguidade, mas não reconhecidos como tais: os metais ouro (Au), prata (Ag), cobre (Cu), ferro (Fe), chumbo (Pb), estanho (Sn), mercúrio (Hg), e o não metal enxofre (S)[222]. Mais quatro elementos viriam a ser descobertos nos tempos da Alquimia: os semimetais arsênio (As) e antimônio (Sb), o metal bismuto (Bi) e o não metal fósforo (P). No século XVIII, seriam descobertos os metais cobalto (Co), em 1735, platina (Pt), em 1740, níquel (Ni), em 1751, zinco (Zn) e manganês (Mn), em 1774, molibdênio (Mo),

[221] STRATHERN, Paul. *O Sonho de Mendeleiev.*
[222] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

em 1778, tungstênio (W), em 1785, zircônio (Zr) e urânio (U), em 1789, estrôncio (Sr), em 1790, titânio (Ti), em 1791, ítrio (Y), em 1794, cromo (Cr) e berílio (Be), em 1798; o semimetal telúrio (Te), em 1782, e os não metais hidrogênio (H), em 1766, nitrogênio (N), em 1772, cloro (Cl), em 1774, e oxigênio (O), em 1774. Ao final do século XVIII, já haviam sido descobertos, assim, um total de 33 elementos[223]. No *Tratado Elementar de Química*, publicado por Lavoisier, em 1789, estão reconhecidos, exceto o telúrio, 23 (vinte e três) elementos conhecidos à época de seu trabalho (oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, enxofre, fósforo, carbono, antimônio, prata, arsênio, bismuto, cobalto, cobre, estanho, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, ouro, platina, chumbo, tungstênio e zinco), mais os três radicais muriático, fluórico e borácico, além das cinco "substâncias simples salificáveis terrosas": cal, magnésia, barita, alumina e sílica.

No século XIX, apesar do grande atrativo representado pela Química Orgânica, continuaria o interesse pela Química Inorgânica, conforme atesta o grande número (49) de elementos descobertos, elevando, assim, o total de elementos conhecidos ao final do século XIX para 82.

O primeiro elemento descoberto no século XIX seria o nióbio (Nb), em 1801, por Charles Hatchet, ao qual se seguiriam[224] o tântalo (Ta), em 1802, por Anders Ekeberg; o ródio (Rh) e o paládio (Pd), em 1803, por William Wollaston; o cério (Ce), em 1803, por von Hisinger; o ósmio (Os) e o irídio (Ir), em 1804, por Smithson Tennant; o iodo (I), em 1804, por Bernard Courtois; o sódio (Na) e o potássio (K), em 1807; o cálcio (Ca), o boro (B), o magnésio (Mg) e o bário (Ba), em 1808, por Humphry Davy; o lítio (Li), em 1817, por Johann Arfvedson; o cádmio (Cd), em 1817, por Friedrich Stromeyer; o selênio (Se), em 1817, o silício (Si), em 1824, o titânio (Ti), em 1825, e o tório (Th), em 1828, por Jöns Berzelius; o alumínio (Al), em 1825, por Hans Christian Oersted; o bromo (Br), em 1826, por Antoine Balard; o vanádio (V), em 1830, por Nils Sefstrom; o lantânio (La), em 1839, e o térbio (Tb) e o érbio (Er), em 1843, por Carl Mosander; o rutênio (Ru), em 1844, por Karl Klaus; o césio (Cs), em 1860, por Gustav Kirchhoff; o tálio (Tl), em 1861, por William Crookes; o rubídio (Rb), em 1861, por Robert Bunsen; o índio (In), em 1863, por Ferdinand Reich; o hólmio (Ho), em 1878, por J. L. Soret; o itérbio (Yb), em 1878, e o gadolínio (Gd), em 1880, por Jean Charles de Marignac; o túlio (Tm), em 1879, por Per Theodor Cleve; o gálio (Ga), em 1875, o samário (Sm), em 1879, e o disprósio (Dy), em 1886, por Paul Emile de Boisbaudran; o escândio (Sc), em 1879, por Lars Nilson; o germânio (Ge), em 1886, por Clemens Winkler; o praseodímio (Pr), em

[223] BRODY, David; BRODY, Arnold. *As Sete Maiores Descobertas Científicas da História.*
[224] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

1885, por von Welsbach; o flúor (F), em 1886, por Joseph Henri Moissan; o argônio (Ar), em 1894; o hélio (He), em 1895, o neônio (Ne), o xenônio (Xe) e o criptônio (Kr), em 1898, por William Ramsey; o radônio (Rn), em 1898, por Friedrich Don; o polônio (Po) e o rádio (Ra), em 1898, por Pierre e Marie Curie; e o actínio (Ac), em 1899, por André Debierne.

Ainda que fossem notáveis os avanços no conhecimento dos fundamentos da Química, faltava, porém, a elaboração de regras que sistematizassem o comportamento dos diferentes elementos. Recentes estudos e dados sobre os elementos pareciam indicar existirem grupos ou famílias naturais de elementos, o que explicaria um "comportamento" químico bastante semelhante (grupo dos halogênios, dos metais alcalinos e alcalinos-ferrosos, etc.)[225]. O problema consistia, assim, em descobrir o que tão variados elementos (gases, líquidos e sólidos, metais duros e macios, leves e pesados, sólidos e líquidos) tinham em comum de forma a ser possível organizá-los.

Um dos pioneiros nessa tarefa foi Johann Wolfgang Dobereiner (1780-1849) que, em 1829, sugeriu a existência de grupos de três elementos, com propriedades químicas semelhantes, aos quais chamou de "tríade"; cloro, bromo e iodo; cálcio, estrôncio e bário; enxofre, selênio e telúrio; e ferro, cobalto e manganês formariam tríades. Em cada uma dessas tríades, o peso atômico do átomo central seria, aproximadamente, a média aritmética daqueles dos extremos[226]. A proposta, de valor classificatório, não teria aceitação no meio científico, devido ao pequeno número de tríades estabelecidas para comprovação da proposta e à confusão entre peso molecular e peso atômico, o que inviabilizava, na realidade, qualquer iniciativa válida. Deve-se a Dobereiner a descoberta do composto orgânico "furfural".

Em meados do século, surgiria um conceito-chave da maior importância para estabelecer uma melhor compreensão do átomo. A noção de "valência", de autoria do químico inglês Edward Frankland (1825-1899), de 1852, viria a ser utilizada e ampliada por Friedrich August Kekulé (1829-1896) em seu trabalho (1858) em Química Orgânica (compostos de carbono) e adotada por Mendeleiev como base na formulação de sua Tabela Periódica dos Elementos. Valência (do latim valens = força) é um número que representa a capacidade de um átomo simples de um elemento combinar-se com outros átomos, isto é, um átomo de um elemento pode combinar apenas com um certo número limitado de átomos de outros elementos[227]. Pela Teoria da valência, por exemplo,

[225] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[226] WOJTKOWAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*
[227] GRIBBIN, John. *Science: a History.*

o hidrogênio, o lítio e o sódio têm valência de 1; o oxigênio, o enxofre e o berílio, de 2; o nitrogênio, o fósforo e o alumínio, de 3; e o carbono e o silício, de 4 (tetravalência).

O geólogo francês Alexandre Béguyer de Chancourtois (1819-1886), em trabalho realizado nos anos de 1862 e 1863, colocaria os elementos em ordem de acordo com seu peso atômico, segundo uma disposição helicoidal (hélice telúrica); verificaria Chancourtois que elementos assemelhados caíam sobre uma mesma geratriz do cilindro envolvente da hélice, mas sua proposta permaneceria ignorada pela comunidade química[228].

Ao mesmo tempo em que ocorriam descobertas de elementos e apareciam propostas para seu ordenamento, prosseguiam, com muito interesse, os trabalhos para a determinação precisa dos pesos equivalentes e atômicos dos diversos elementos, prejudicados pela falta de uma distinção clara entre átomo e molécula. Somente depois do Congresso Internacional de Química, no ano de 1860, em Karlsruhe, quando Cannizzaro, autor de *Sunto di um corso di filosofia chimica* (1858), explicou, comprovou e difundiu a Hipótese de Avogadro, formulada em 1811 (iguais volumes de quaisquer gases a mesma temperatura e pressão contém o mesmo número de moléculas), seriam aceitas a diferença entre átomo e molécula, e o novo método para a determinação da moderna tabela de pesos atômicos[229], que adotaria, como unidade de referência, o peso de meia molécula de hidrogênio.

O químico inglês John Alexander Newlands (1837-1898) é conhecido por sua "Lei das oitavas", de 1864, que estabelecia o conceito de periodicidade dos elementos químicos. Ordenando os elementos em ordem crescente de seus pesos atômicos, notou Newlands que os elementos pertencentes ao mesmo grupo repetiam, no intervalo de cada oito elementos, certa semelhança, o que sugeria uma analogia com o intervalo da escala musical. A sugestão foi descartada pela Sociedade Química de Londres, pois apresentava alguns defeitos, como o de as propriedades dos elementos de maior peso atômico não se encaixarem perfeitamente no modelo proposto[230]. A fria recepção levaria Newlands a desistir, na época, da publicação de seu trabalho, editado somente em 1884, com o título *Sobre a Descoberta da Lei Periódica*.

Dois químicos enunciariam, pela mesma época, uma classificação periódica dos elementos químicos: a de Mendeleiev, publicada em 1 de março de 1869, e a de Meyer, em 1870. O mérito da descoberta é atribuída

[228] LEICESTER, Henr. *The Historical Background of Chemistry.*
[229] JAFFE, Bernard. *Crucibles: The Story of Chemistry.*
[230] STRATHERN, Paul. *O Sonho de Mendeleiev.*

à obra do químico russo, tanto pela precedência de sua divulgação, quanto pela qualidade e visão no preparo do sistema. A superioridade do trabalho de Mendeleiev ofuscaria, em pouco tempo, a proposta de Meyer, cujas falhas, anomalias, lacunas e deficiências não chegaram a ser cabalmente esclarecidas. Além de professores universitários, ambos escreveram obras de grande valor científico: Mendeleiev, o livro *Princípios de Química* (1868/70), que trata, inclusive, dos elementos e suas propriedades, e Meyer, a *Moderna Teoria da Química* (1864), que contém um esquema preliminar de ordem dos elementos por seus pesos atômicos, e examina a relação entre o peso atômico e as propriedades do elemento[231].

Dmitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907), órfão de pai desde pequeno, teve sua educação assegurada pelo esforço e dedicação de sua mãe, que o matriculou (1849) em escola secundária de São Petersburgo, mas que viria a falecer poucas semanas depois. Em 1855, formou-se Mendeleiev como professor secundário, sendo designado para escola na Crimeia, onde permaneceria pouco tempo. De retorno a São Petersburgo, obteve verba do governo para estudar dois anos no exterior; na França, estudou com Henri Regnault, e trabalhou no laboratório de Wurtz, e, em Heidelberg, com Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen; familiarizou-se com a teoria da valência, participou do Primeiro Congresso Internacional de Química (1860) no qual a argumentação de Cannizzaro sobre o peso atômico dos elementos lhe causou grande impressão. De retorno a São Petersburgo, em 1861, assumiria, em 1863, a cátedra de Química do Instituto Tecnológico, quando escreveria *Princípios da Química* (1868-1870) e realizaria pesquisas que redundariam na descoberta da "Lei Periódica" (1869). Exerceu a docência de Química até 1890, e, em 1893, foi nomeado para dirigir o Bureau de Pesos e Medidas, cargo que exerceria até sua morte, em 20 de janeiro de 1907. Sua candidatura ao Prêmio Nobel, em 1906, perdeu por um voto para a de Ferdinand Moissan (1852-1907).

Durante anos, Mendeleiev reuniu um formidável conjunto de dados sobre os 63 (sessenta e três) elementos conhecidos, o que o possibilitaria, na primeira parte de seu livro *Princípios da Química*, procurar organizar o material em torno das "famílias" ou "grupos" de elementos que exibiam propriedades semelhantes; os elementos de cada grupo seriam organizados pela ordem crescente de seu peso atômico[232].

Em sua primeira Tabela, Mendeleiev alinhou os elementos em cinco colunas verticais: a primeira, do sódio (Na) de peso atômico 23 ao berílio (Be) de 9; a segunda, do índio (In) de 75 (?) ao magnésio (Mg) de 24; a terceira,

[231] GRIBBIN, John. *Science, a History.*
[232] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

do tório (Th) de 118 (?) ao titânio (Ti) de 50; a quarta, do bário (Ba) de 137 ao zircônio (Zr) de 90; e a quinta, do chumbo (Pb) de 207 ao tântalo (Ta) de 182. O hidrogênio (H) de peso 1 e o lítio (Li) de peso 7 não constavam dessas colunas, colocados a parte, antes da primeira coluna. Por não se encaixar corretamente na ordem que estabelecera em sua Tabela, Mendeleiev sugeriria, corretamente, que o peso atômico do tório (Th), de 118, ao pé da terceira coluna, deveria ser corrigido; os pesos atômicos do telúrio (Te), do ouro (Au) e do bismuto (Bi) teriam, igualmente, um ponto de interrogação, como a indicar dúvidas sobre os mesmos. Quando nenhum elemento se encaixava no padrão por ele estabelecido, deixava Mendeleiev uma lacuna (quatro na quinta coluna) na Tabela ou precedia o peso atômico previsto de um elemento por um ponto de interrogação (um na segunda coluna, dois na terceira e dois na quinta)[233]. O índio (In), o ítrio (Y) e o érbio (Er) apareciam na segunda coluna vertical precedidos por ponto de interrogação para indicar dúvidas quanto aos respectivos pesos, e, consequentemente, às posições designadas na coluna.

Ao formar o grupo dos halogênios (do grego halos = sal) - flúor (F) com peso 19, cloro (Cl) com 35, bromo (Br) com 80, e iodo (I) com 127; ao compor a família oxigênio com o oxigênio (O) de peso 16, o enxofre (S) de 32, o selênio (Se) de 79, e o telúrio (Te) de 128; e ao concluir a família nitrogênio, emj que o nitrogênio (N) tem peso 14, o fósforo (P) 31, o arsênio (As) 75, e o antimônio (Sb) 122, perceberia Mendeleiev que, a partir do pé das colunas verticais, os elementos ascendiam em peso atômico, com a exceção do telúrio, cujo peso era pouco superior ao do iodo; na fileira horizontal dispôs, da esquerda para a direita, os elementos que mostravam uma combinação gradual de propriedades. Com poucas exceções, os elementos se agrupavam, de forma harmoniosa, segundo suas propriedades[234].

Para o posicionamento definitivo dos elementos na Tabela, recorreria Mendeleiev à teoria da valência, de Frankland/Kekulé, segundo a qual o átomo de um elemento teria a capacidade de se combinar com um número limitado de átomos de outro elemento. Constataria Mendeleiev que os primeiros elementos mostravam uma mudança progressiva de valência: hidrogênio de 1, lítio de 1, berílio de 2, boro de 3, carbono de 4, nitrogênio de 3, enxofre de 2, flúor de 1, sódio de 1, magnésio de 2, alumínio de 3, silício de 4, fósforo de 3, oxigênio de 2, cloro de 1, potássio de 1, cálcio de 2, e assim por diante. A valência subia e baixava, estabelecendo períodos: o primeiro do hidrogênio, seguido de dois períodos de sete elementos cada, e depois períodos com mais de sete elementos. Para que todos os elementos

[233] STRATHERN, Paul. *O Sonho de Mendeleiev.*
[234] HORVITZ, Leslie Alan. *Eureca.*

de uma coluna tivessem a mesma valência, Mendeleiev colocaria o telúrio – peso atômico 127,6 e valência 2 – na frente do iodo – peso atômico 126,9 e valência 1 –, a fim de mantê-los nas correspondentes colunas. Sua intuição estava mais uma vez correta: a periodicidade, com a inversão entre o iodo e o telúrio, se dava em função de seu número atômico ou número de prótons, grandeza mais fundamental que o peso atômico, descoberta devida ao físico inglês Henry Moseley (1887-1915). Haveria mais duas inversões de posições na Tabela, uma entre o potássio e o argônio, e outra entre o cobalto e o níquel.

Assim, nesse processo de montar a Tabela relacionando o peso atômico com as propriedades físicas e químicas dos elementos, Mendeleiev descobriria a chamada lei periódica, pela qual as propriedades físicas e químicas dos elementos são uma função periódica de seu peso específico. A repetição, a intervalos, de tais propriedades, explica, portanto, a denominação de Tabela Periódica.

Mendeleiev, no início de 1869, apresentaria à Sociedade Química Russa seu trabalho intitulado *Sobre a Relação das Propriedades com os Pesos Atômicos dos Elementos*, o qual seria logo publicado (março), traduzido para outras línguas e difundido, causando grande sensação nos meios científicos. Como algumas discrepâncias foram apontadas e dúvidas e críticas levantadas, Mendeleiev defenderia com vigor sua obra, esclarecendo dúvidas e refutando críticas[235].

Ao mesmo tempo em que procedia a pequenas revisões formais, a atualizações de alguns pesos atômicos de sua primeira Tabela e à inclusão de novos elementos, previu, em novembro de 1870, um elemento desconhecido na segunda coluna vertical, o "Eka-boro", antes do cálcio (Ca), com peso atômico 45 (escândio - Sc) e dois elementos desconhecidos na terceira coluna: o "Eka-alumínio", com peso atômico 68 (gálio - Ga), e o "Eka-silício" (germânio-Ge), com peso 70[236]. A correção dessas três previsões viria a contribuir para a credibilidade da Tabela Periódica[237].

Após a elaboração da Tabela Periódica, 20 (vinte) novos elementos, inclusive os três previstos por Mendeleiev, foram descobertos, até 1906, o que impôs um trabalho de atualização, colocando-os no lugar apropriado da Tabela, de acordo com os critérios estabelecidos por seu autor. Para todos os novos elementos havia lugar na Tabela Periódica, com exceção daqueles de valência nula (hélio-He, neônio-Ne, argônio-Ar, criptônio-Kr, xenônio-Xe, e radônio-Rh), que formariam uma nova família, a dos "Gases Nobres".

235 STRATHERN, Paul. *O Sonho de Mendeleiev.*
236 BRODY, David; BRODY, Arnold. *As Sete Maiores Descobertas Científicas da História.*
237 JAFFE, Bernard. *Crucibles: a History of Chemistry.*

Confirmavam-se, assim, a utilidade e a correção da Lei da Periodicidade e da Tabela Periódica, sistematização que pôs fim à confusão, até então reinante, no domínio dos elementos naturais que, após o novo conceito introduzido por Lavoisier, atingiria, em pouco mais de 120 anos, à época da morte de Mendeleiev, o número de 83 (oitenta e três).

6.21.3 Atomismo

Ao mesmo tempo em que avançava o conhecimento sobre os elementos naturais, evoluiria, no século XIX, a concepção atomística da matéria, a partir de conceitos, princípios e leis quantitativas que remontam ao final do século anterior. Tais fundamentos teóricos seriam, em particular, os enunciados por Antoine Lavoisier quanto às noções de elemento e de conservação da matéria; por Jeremias Richter, em sua lei dos números proporcionais; e por Louis Joseph Proust, em sua lei das proporções definidas, pela qual uma dada substância contém, na mesma proporção, seus elementos constituintes, ou seja, as substâncias que participam de uma reação o fazem em quantidades precisas.

Assim, por exemplo, na síntese da água, a 2 g de H só se podem unir 16 g de O, ou múltiplos dessas duas massas: 4 g e 32 g, ou 8 g e 64 g, etc. No caso de dois elementos se unirem em proporções quantitativas variáveis, as combinações obtidas são qualitativamente diferentes; assim, 12 g de C com 16 g de O resulta em óxido de carbono, e 12 g de C com 32 g de O em gás carbônico[238].

Essa Lei estabelece, ainda, a constância da composição, e permite distinguir misturas e combinações. Um composto pode ter dois elementos na proporção 3:1, mas não em proporções complexas, como 3,21:1, e, assim, 100 g de O combinados com 12,5 g de H produzem 112,5 g de água, numa relação precisa de 1 para 8.

Em 1787, o físico e químico francês Jacques Alexandre César Charles descobriria, o que alguns autores chamam de "lei de Charles", que o volume de uma quantidade fixa de gás, a uma pressão constante, é inversamente proporcional à sua temperatura; logo, todos os gases, submetidos a uma mesma pressão, se expandiriam igualmente a um aumento de temperatura. Charles não publicou sua descoberta, mas a comunicou a Gay-Lussac (1802) que, após confirmar a informação recebida, divulgou-a, estabelecendo que, desde que dois gases se combinem, existe uma relação simples entre o volume da combinação gasosa e aquele dos gases constituintes. A lei é mais conhecida como "Primeira Lei de Gay-Lussac".

---

[238] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

O meteorologista inglês John Dalton, em seus estudos sobre a composição do ar, pesquisou, igualmente, a composição e o comportamento dos gases, tendo a respeito apresentado quatro Memórias, em 1801/1803, sobre a *Constituição de Gases Misturados*, *A Força do Vapor*, *Evaporação* e *Expansão dos Gases pelo Calor*. Da Memória de 1805, intitulada *Sobre a Absorção dos Gases pela Água*, constaria uma primeira tabela de pesos atômicos de alguns elementos, como oxigênio, hidrogênio e nitrogênio.

Independentemente de Charles e Gay-Lussac, mas já em suas *Memórias*, Dalton chegaria à mesma conclusão. Entendia Dalton que o ar era uma mistura mecânica de gases, porém sua composição era constante e uniforme, como provavam as análises da atmosfera de diferentes locais da Inglaterra; verificou, também, que o ar da montanha diferia muito pouco daquele do nível do mar. Era necessário entender porque os gases mais leves, como o oxigênio, o nitrogênio e o vapor d'água eram encontrados no nível dos mais pesados como o dióxido de carbono ou, em outras palavras, saber como se processava a difusão dos gases[239].

Com base na ideia de Lavoisier, de que partículas de gás eram separadas umas das outras por uma "atmosfera de calor", sustentaria Dalton que, quando dois ou mais gases são misturados, suas pressões combinadas serão a mesma que a soma das pressões que este gás teria se estivesse sozinho ocupando o mesmo volume.

No decurso de suas investigações, Dalton enunciaria, ainda, a lei quantitativa, conhecida como "lei das proporções múltiplas", pela qual quando, com a mesma quantidade de um elemento, combinam-se quantidades diferentes de outro elemento, formando compostos diferentes, as massas desses últimos são múltiplas da menor delas, e formam uma série simples. Assim, 28 g de N podem combinar-se com 16 g de O, bem como com seus múltiplos, isto é, 16x1, 16x2, 16x3...16x7, dando lugar a sete diferentes óxidos de nitrogênio. O oxigênio e o carbono podem formar dois compostos: no monóxido de carbono, a proporção dos dois elementos é, respectivamente, 4:3; e no dióxido de carbono, é de 8:3. As massas de oxigênio que reagem com mesma massa de carbono nos dois compostos estão entre si como 4:8 ou 1:2. Em suas pesquisas sobre o etileno e o metano, Dalton comprovaria que o metano é composto de C e H na proporção de peso de 3:1, e o etileno na de 6:1, o que significa ter o etileno duas vezes a proporção de peso de H no metano.

Baseando-se na lei das proporções definidas, de Proust, de que as proporções ocorriam em termos inteiros, concluiria Dalton que cada elemento natural seria formado por partículas indivisíveis (átomos).

[239] JAFFE, Bernard. *Crucibles: The Story of Chemistry.*

Em 1808, Gay-Lussac formularia importante "lei volumétrica" sobre os gases, pela qual, ao se combinarem, os volumes desses mantém uma relação numérica simples entre si, bem como com os volumes dos produtos, sempre e quando sejam também gases[240]. Assim, são sempre necessários 2 (dois) volumes de H e 1 de O para fazer a água, ou de 3 volumes de H e 1 de N para produzir gás amoníaco, ou 1 volume de H e 1 de Cl para o cloreto de hidrogênio.

Nesse mesmo ano, Dalton exporia sua teoria no clássico *Novo Sistema de Filosofia Química* (ampliado e revisto em 1810 e 1827), cujos principais postulados eram: a matéria consiste de átomos indivisíveis, que não podem ser criados ou destruídos, e que preservam suas individualidades nas transformações químicas; todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos e têm a mesma massa; cada elemento se caracteriza pela massa de seu átomo; diferentes elementos têm diferentes átomos; os compostos químicos são formados pela união de átomos de diferentes elementos em proporções numéricas simples e determinadas, como 1:1, 1:2, 2:3; como os átomos não sofrem mudanças durante uma reação química, a massa de um composto é a soma das massas de seus elementos; um composto é formado pela união de átomos em proporções determinadas; a proporção, em pesos, de dois elementos é sempre a mesma em qualquer amostra do composto.

As objeções que surgiram à teoria argumentavam, por exemplo, que as combinações gasosas, como na de que o volume do vapor d'água de um volume de oxigênio com dois de hidrogênio será dois e não três, ou de que um volume de nitrogênio em combinação com três volumes de hidrogênio não produzirá quatro volumes de amoníaco, mas apenas dois volumes. Nesses exemplos de reações químicas, haveria, assim, desaparecimento de átomos, o que invalidaria a teoria atômica de Dalton.

Poucos anos depois começariam a surgir proposições que buscavam superar certas dificuldades impostas pela teoria de Dalton, inclusive quanto ao peso atômico dos elementos. Nesse sentido, a primeira grande contribuição para o futuro entendimento do atomismo seria a do físico e químico italiano Amedeo Avogadro (1776-1856), professor em Turim, que em 1811 publicaria um artigo no qual estabeleceria a nítida distinção entre átomo e molécula, sugerindo que iguais volumes de quaisquer gases a uma mesma temperatura e pressão contêm o mesmo número de moléculas. Esse número, conhecido como número de Avogadro, já teve vários cálculos desde sua concepção, estando atualmente calculado em $7x10^{23}$, isto é, 7 (sete) seguido de 23 (vinte e três) zeros. A hipótese de Avogadro significava que os elementos químicos em estado gasoso

240 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

apresentam-se constituídos não por átomos isolados uns dos outros, mas por moléculas livres, integradas por um mínimo de dois átomos iguais, isto é, por moléculas biatômicas, ou, em outras palavras, estabelecendo-se a distinção entre os átomos e as menores partículas de um gás. Nessas condições, serviria a hipótese para determinar a massa molecular e, indiretamente, a massa atômica dos elementos. Assim, duas moléculas de hidrogênio (4 átomos de H) se combinam com uma molécula de oxigênio (2 átomos de O) formando duas moléculas de água ($2H_2O$).

Como explicou Horta Barbosa, a hipótese de Avogadro possibilitaria a determinação dos pesos moleculares. Basta, para tanto, determinar o peso de volumes iguais das substâncias em estado gasoso, em idênticas condições de temperatura e pressão. Para duas moléculas de água, esses pesos, referidos ao do hidrogênio (o mais leve de todos os gases) e ao oxigênio, são de 2 e de 32, que correspondem aos pesos atômicos de 1 para H e 16 para O, respectivamente[241]. A mesma ideia seria retomada, independentemente, em 1814, por Adrien-Marie Ampère (1775-1836), que demonstraria estar ela de acordo com as leis Boyle-Mariotte e Gay-Lussac, mas tal proposição não teria sucesso, nem mesmo na França.

A proposta de Avogadro não teve repercussão, na época, nos grandes centros científicos europeus, permanecendo a confusão do conceito de átomo, que dificultava a própria aceitação, por parte da comunidade química, do atomismo, e que propiciava o surgimento de teorias alternativas, como a dos pesos equivalentes. A aceitação, a partir de 1860, da hipótese de Avogadro, significaria a introdução de importantes modificações na teoria atômica de Dalton, vindo a permitir, assim, a crescente adesão de renomados químicos ao atomismo e seu eventual triunfo. Stanislao Cannizzaro (1826-1910), professor em Gênova, autor, em 1858, de *Sunto di um corso di filosofia chimica*, foi o grande responsável por essa mudança de posicionamento teórico da comunidade científica. Ao explicar e difundir, em 1860, a obra de Avogadro na Conferência de Karlsruhe, Cannizzaro dissiparia dúvidas, esclareceria conceitos, adicionaria provas e estabeleceria método e critérios para a determinação dos pesos atômicos e moleculares, tornando possível, desse modo, a aceitação de pontos controvertidos até então.

Dado que a hipótese de Avogadro não foi considerada, na época de sua formulação, como solução para o impasse criado com falhas e erros na teoria atômica de Dalton, várias contribuições surgiriam com o objetivo precípuo de determinar o peso dos elementos, já que a proposta por Dalton não correspondia à realidade da Análise Química.

---

241 BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

A descoberta da eletrólise, no mesmo ano (1800) do anúncio da invenção da pilha elétrica, por Alessandro Volta, possibilitou, pela eletroquímica, um imediato e extraordinário desenvolvimento científico e tecnológico. No campo da Química, devido à sua verificação que certas substâncias, dissolvidas na água, conduzem a corrente elétrica, ao passo que outras não o fazem, Humphry Davy (1778-1829) descobriria (1807/08), pela eletrólise, os elementos potássio (K) e sódio (Na), e separaria vários metais de seus óxidos, como o magnésio (Mg), o estrôncio (Sr), o bário (Ba) e o cálcio (Ca) [242]. A eletrólise, de aplicação crescente na análise das substâncias químicas, se transformaria, assim, num formidável instrumento de pesquisa, contribuindo para a ampliação do conhecimento das reações químicas e da constituição das moléculas.

Em 1814, William Wollaston (1766-1828), descobridor dos elementos paládio (Pd) e ródio (Rh), que não aceitara a "teoria atômica" (como Davy e Berthollet), prepararia uma tabela de "pesos equivalentes", cuja base era o oxigênio igual a 10, mas não teria sucesso junto à comunidade científica. O termo "equivalente", porém, seria adotado pela maioria dos químicos, pois tinha a vantagem de não implicar na existência dos átomos.

Logo depois, William Prout (1785-1850), com base na teoria de Dalton, de números inteiros para os pesos atômicos, sugeriria (hipótese Prout) que os átomos teriam diferentes pesos porque eram formados por diferentes números de átomos e que os pesos atômicos dos elementos eram múltiplos exatos do peso atômico do hidrogênio[243].

O químico Pierre-Louis Dulong (1785-1838) e o físico Aléxis Petit (1791-1820), após o exame do calor específico da água, observaram que o calor específico dos elementos é inversamente proporcional aos seus pesos atômicos, ou seja, o produto dos pesos atômicos e dos calores específicos seria uma constante. Em consequência, em 1819, Dulong estabeleceria, empiricamente, a lei Dulong/Petit, pela qual a massa atômica de um corpo é inversamente proporcional ao calor da massa, isto é, se o elemento X tem o dobro do peso atômico do elemento Y, a temperatura do elemento X se elevará pela metade da absorvida pelo elemento Y.

No final desse mesmo ano de 1819, o químico alemão Eilhard Mitscherlich (1794-1863) descobriria que os compostos de composição similar se cristalizariam juntos, e mostraria que os fosfatos e os arseniatos de um mesmo metal podem ter a mesma forma cristalina, introduzindo, assim, a importante noção de "isomorfismo" (do grego "mesma forma"), de que corpos isomorfos têm fórmulas químicas análogas; portanto,

[242] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*
[243] GRIBBIN, John. *Science: a History.*

conhecendo-se a estrutura de um deles, seria conhecida a do outro composto. Desta forma, o arseniato de sódio, isomorfo do fosfato de sódio (Na_2HPO_4), tem por fórmula Na_2HAsO_4, o que permite, também, calcular o peso atômico do arsênico igual a 75. Tais corpos isomorfos teriam a propriedade de se substituírem em quaisquer proporções, formando sempre cristais isomorfos[244]. Consultado por Mitscherlich, o isomorfismo seria reconhecido por Berzelius, que o utilizaria para a elaboração de sua Tabela de pesos atômicos.

Ao mesmo tempo em que adeptos do atomismo buscavam demonstrar a validade da teoria atômica, inclusive por meio da fixação do valor do peso atômico, surgiria, em oposição, o método dos equivalentes, também conhecido como método dos números proporcionais, decorrente das leis quantitativas, ao qual aderiram, entre outros, Humphry Davy, Berthollet, Gerhardt, Laurent, Dumas, Deville e Berthelot. A confusão entre os conceitos de átomo e molécula, muitas vezes usados como sinônimos, explica a controvérsia entre os adeptos das duas teorias, solucionada a partir da adoção da hipótese de Avogadro.

As proporções relativas dos elementos constitutivos dos corpos, sem referência a átomos, seriam a base para a fixação dos pesos equivalentes, que representariam o peso de um elemento equivalente ao peso de outro elemento para se combinar com um terceiro[245]. Em outras palavras, um elemento participa sempre de uma combinação química por múltiplos de uma quantidade ponderal de base, medida em função de referências. Esses pesos variariam de um elemento a outro, mas as quantidades de matérias que representam seriam equivalentes, e poderiam, eventualmente, se substituir de um elemento a outro, se os elementos tiverem propriedades análogas; mesmos no caso de não se substituírem, as quantidades têm um comportamento idêntico em relação à reação química. Os pesos equivalentes são expressos por números, os quais, por vinculados a um fator, são números proporcionais. Desse modo, a expressão adotada não refletiria uma estrutura, nem se basearia na noção de átomo[246].

Alguns exemplos ilustram o método dos equivalentes, em que a referência mais comum é o hidrogênio, por ser o elemento mais leve, porém alguns químicos utilizariam o oxigênio = 100. A análise mostra que um peso de oxigênio oito vezes maior que o do hidrogênio entra na composição da água, o que seria a referência para fixar os pesos equivalentes dos dois elementos H e O, um em relação ao outro. Essa referência estabelece

---

[244] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*
[245] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
[246] VIDAL, Bernard *Histoire de la Chimie.*

apenas relação H/O. Se o hidrogênio servir de referência para fixar o peso equivalente, o do oxigênio é igual a 8. Assim, a letra H representará o peso 1 do hidrogênio e a letra O o peso 8 do oxigênio. Se o oxigênio for a referência, o O é igual a 100 e o H igual a 12,5. Pelo método, a fórmula da água é HO, o que representa o resultado da análise, mas está errada, segundo a teoria atômica, pois a molécula da água não é composta de apenas dois átomos. No caso da água oxigenada, descoberta em 1818, por Louis-Jacques Thénard (1777-1857), cuja fórmula atual é H_2O_2, a molécula contém dois átomos de hidrogênio e dois de oxigênio, para a análise de 16 g de O e 1 g de H. Como os equivalentes determinados da água são H=1 e O=8, significa existir dois equivalentes de oxigênio para um de hidrogênio na água oxigenada, pelo que a fórmula seria HO_2. No caso de se comparar a água com o sulfeto de hidrogênio, a 1 g de hidrogênio correspondem 16 g de enxofre, pelo que se escreveria a fórmula HS, enquanto a atual fórmula do sulfeto de hidrogênio é H_2S[247]. Assim, nesse sistema, os equivalentes estariam numa relação simples com as massas atômicas; a massa de oxigênio é igual a 8 em equivalentes e a 16 em átomos.

O químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), reputado como um dos fundadores da Química moderna, por suas importantes contribuições, teóricas e experimentais, teria um papel igualmente importante na evolução da teoria atômica na primeira metade do século XIX. Formularia a "teoria dualista", base de seus trabalhos sobre a composição das substâncias; sua teoria é interpretada como uma procura, uma síntese entre a lei volumétrica dos gases de Gay-Lussac e a teoria atômica da época, a respeito da qual fazia alguns reparos[248].

Influenciado pelos seus trabalhos em eletrólise, e baseado na ideia de que a menor porção de um corpo simples é dotada de polaridade elétrica, mas que os sinais (positivo e negativo) não seriam equivalentes, Berzelius sustentava que cada corpo tinha um caráter duplo, eletropositivo e eletronegativo, daí ser conhecida como teoria dualística. Cada polaridade seria responsável pelo grau de afinidade e de união entre os corpos; as reações químicas eram acompanhadas de reações elétricas. Em outras palavras, como os corpos eram decompostos pela corrente elétrica e seus elementos se agrupavam nos polos numa célula eletrolítica, concluiria Berzelius que os átomos estavam carregados de eletricidade, resultando uma combinação química da neutralização mútua das cargas opostas.

Em 1818, publicaria Berzelius seu *Ensaio sobre a teoria das proporções químicas*, no qual apresentaria o primeiro quadro completo das proporções entre

---

[247] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
[248] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

os 43 elementos então conhecidos, tendo como base o número 100 atribuído ao oxigênio. A obra seria revista e ampliada em 1826 e 1833 para adaptá-la às descobertas, em 1819, de Dulong/Petit e Mitscherlich. A hipótese de Avogadro, contudo, nunca foi aceita por Berzelius, já que contrariava sua teoria dualista.

Ao contrário de Dalton, que adotara o hidrogênio igual a 1 para deduzir os pesos atômicos dos outros elementos (oxigênio, nitrogênio, enxofre, carbono, fósforo), Berzelius, já na versão revista de 1826, se basearia no oxigênio igual a 16 para estabelecer as proporções dos demais elementos, uma vez que tem a propriedade de se combinar facilmente com diferentes elementos. Sua Tabela diferia, também, da de Dalton, porque não apresentava, de modo geral, valores em números inteiros.

Os pesos proporcionais calculados por Berzelius correspondem, com a exceção de três ou quatro, aos pesos atômicos atualmente adotados[249]. Assim, por exemplo, oxigênio (O) – 16; hidrogênio (H) – 1; carbono (O) – 12,24; nitrogênio (N) – 14,05; enxofre (S) – 32,18; cloro (Cl) – 35,41; potássio (K) – 39,19; ferro (Fé) – 54,40; cobre (Cu) – 66,00; prata (Ag) – 108,12; mercúrio (Hg) – 202,80; e chumbo (Pb) – 207,12.

Ao classificar os elementos por ordem de polaridade negativa, Berzelius instituiria, também, uma "notação dualística", a qual não viria a prevalecer, mas que contribuiria para agitar, ainda mais, a controvérsia na comunidade química. De acordo com a teoria dualística, na eletrólise do sulfato de potássio, por exemplo, o ácido sulfúrico, elemento eletronegativo, se fixa no polo positivo, e o potássio, no negativo, pelo que a notação desse sulfato era KO,SO_3 (hoje K_2SO_4)[250].

Dessa forma, confrontava-se a comunidade científica, a partir dos anos 1820, com três Teorias (atômica, dos equivalentes e dualística), fonte da intensa controvérsia que perduraria por todas as demais décadas do século.

Deve-se consignar que a noção da descontinuidade da matéria, essencial no atomismo, seria reforçada a partir da constatação, pelo botânico escocês Robert Brown, em 1827, de que pequenas partículas no líquido teriam um movimento incessante e desordenado (movimento browniano); tal movimento seria transmitido em suspensão no líquido pelas partículas do próprio líquido. Somente em 1877, Ignace Carbonnelle (1829-1889) atribuiria esses movimentos à agitação térmica[251] (o movimento se acentua com a elevação da temperatura), o que serviria de argumento a favor da teoria atômica.

---

[249] JAFFE, Bernard. Crucibles: *The Story of Chemistry.*
[250] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
[251] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

Os trabalhos de Michael Faraday em eletroquímica (1832/33) não tiveram repercussão e aceitação imediata, mas seriam de grande importância, no futuro, para a determinação dos pesos atômicos. Ao estudar a condução da eletricidade por soluções de sólidos (gelo) e de sais em água e por sais minerais fundidos, Faraday, para medir a quantidade de eletricidade, desenvolveu uma célula eletrolítica especial que permitia recolher os gases que se desprendiam com a decomposição da água, o que resultava na decomposição de partículas, às quais deu o nome de "íons" (do grego "ienai" para "ir") para indicar o movimento de partículas eletricamente carregadas. Com essa pesquisa, mostraria que a quantidade de eletricidade que liberava um grama de hidrogênio liberava também quantidades específicas de outras substâncias, como 8 g de oxigênio, 36 g de cloro, 125 g de iodo, 104 g de chumbo e 58 g de estanho. Recusando fundamentar-se na hipótese atômica, Faraday chamaria os eletrólitos decompostos em "massas quimicamente equivalentes"[252].

Ainda em 1833, o químico Marc-Antoine Gaudin (1804-1880) proporia, sem qualquer êxito, distinção entre átomo e molécula, retomando a iniciativa de Avogadro: um átomo seria um pequeno esferoide qualquer, essencialmente indivisível, enquanto uma molécula seria um grupo isolado de átomos, em qualquer número e de qualquer natureza[253].

Avanço significativo no exame dos pesos equivalentes e na tentativa de acabar com as "anomalias nas notações das fórmulas químicas" seria a tabela, organizada em 1844, em seu *Sumário de Química Orgânica* pelo químico francês Charles Frédéric Gerhardt (1816-1856), a partir de seus trabalhos em Química Orgânica. Como anotaria Gerhardt, na *Química Mineral*, todos os equivalentes se referiam a um peso 100 atribuído ao oxigênio, enquanto na Química Orgânica se adotara para o oxigênio o peso 200. Tal erro fora percebido ao analisar uma série de reações orgânicas, nas quais "os equivalentes de Carbono e de Oxigênio eram representados por números pares, e os equivalentes de Hidrogênio, por números divisíveis por 4". Nessa base, propôs tabela de pesos que seria aperfeiçoada por Augustin Laurent (1807-1853).

De especial importância para os avanços na teoria atômica, no início da segunda metade do século, seriam os trabalhos no campo da Física (Termodinâmica). Assim, Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822-1888), autor da 2ª lei da Termodinâmica, em decorrência de seus estudos sobre a teoria cinética dos gases (1857/58), concluiria que as moléculas tinham energia proporcional à temperatura, e que uma molécula de gás

[252] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*
[253] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

em constante agitação, viajaria certa distância média antes de colidir, ao acaso, com outra. Nesse mesmo sentido, James Clerk Maxwell, ao estudar, em 1860, matematicamente, o comportamento dos gases, concluiria, como Clausius, que as moléculas se moviam em todas as direções e com velocidades possíveis, chocando-se entre si e contra os obstáculos. Pouco depois, o trabalho do químico austríaco Johann Josef Loschmidt (1821-1895) estabeleceria (1865) o diâmetro das moléculas gasosas, que, em condições normais de temperatura e pressão, seria 10^{-10} metros (um décimo bilionésimo do metro, ou 1 Ångström)[254]. A distribuição de velocidade das moléculas de Maxwell seria generalizada nos anos 1870 pelos trabalhos do austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906).

Por ocasião dos estudos dos físicos Clausius e Maxwell, adeptos do atomismo, de especial significado, no campo da Química, para reduzir a incompreensão e diminuir as dúvidas sobre a teoria atômica, seria o Primeiro Congresso Internacional de Química, em Karlsruhe (1860), convocado para tentar uma conciliação entre os defensores da teoria dos equivalentes e da teoria atômica e pôr um fim na confusão reinante sobre nomenclatura e simbologia na Química Orgânica. O principal personagem do Congresso seria Stanislao Cannizzaro, que explicaria, defenderia e divulgaria a hipótese de Avogadro, estabeleceria nitidamente a diferença entre átomo e molécula, e apresentaria critérios e métodos para uma tabela de pesos atômicos.

Pouco depois (1865), o químico belga Jean Servais Stas (1813-1891) seria o primeiro a determinar, desde a de Berzelius, a mais acurada tabela de pesos atômicos, em seu trabalho *Novas pesquisas sobre as proporções químicas*.

A impossibilidade da Física e da Química demonstrarem a existência do átomo seria o maior obstáculo para a aceitação, pela comunidade científica do século XIX, da teoria atômica. Importantes descobertas, porém, no campo da Física, no final desse século, possibilitariam a comprovação do átomo e a formulação de uma nova teoria atômica, no século XX, baseada nos conhecimentos atualizados da matéria.

Em 1858, o físico alemão Julius Plücker (1801-1868) descobriria que raios provenientes do cátodo eram desviados pelo campo magnético, o que seria confirmado pelas experiências, em 1860, de Wilhelm Hittorf (1824-1914). Seguiram-se importantes pesquisas sobre raios catódicos por William Crookes (1832-1919), Heinrich Hertz (1857-1894), Philip von Lenard (1862-1947) e Jean Perrin (1870-1942). Em 1891, o físico irlandês George Johnstone Stoney (1826-1911) criaria o termo elétron, e, em 1895, Wilhelm Roentgen (1845-1923)

[254] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

descobriria os raios-X. O físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940), em suas investigações, descobriria, em abril de 1897, que os raios catódicos são formados por pequenas partículas carregadas negativamente: "na hipótese que os raios catódicos são partículas carregadas movendo-se em altas velocidades... o tamanho dessas tem de ser menor em comparação com as dimensões de átomos ordinários ou moléculas"[255]. A pesquisa para definir a proporção entre a carga elétrica das partículas e sua massa levaria Thomson à conclusão de que se tratava de algo menor que um átomo, cerca de 1.800 vezes menor que o átomo mais leve. A velocidade medida por J. J. Thomson foi de 50 mil km por segundo. A descoberta de Thomson revolucionaria a tradicional concepção da estrutura do átomo, que deixaria de ser considerado como indivisível, para orientar as futuras pesquisas sobre a natureza dos átomos e das subpartículas.

6.21.4 Química Orgânica

A denominação atual de Química Orgânica para a parte da Química relativa aos compostos de carbono foi introduzida por Berzelius, em 1807, para designar o grupo de substâncias que poderiam ser sintetizadas apenas por organismos vivos. Mesmo após se ter obtido a síntese desses compostos por substâncias minerais em laboratórios (1828), a designação inicial, apesar de imprópria, seria mantida. A descoberta posterior de que todos os compostos orgânicos contêm carbono em suas moléculas, o que a torna a Química do Carbono (denominação sugerida por Kekulé, em 1861), não seria capaz de alterar, tampouco, sua primeira designação, aceita e incorporada, desde o início, pela comunidade científica.

A descoberta dos meios de conversão laboratorial de "substâncias inorgânicas em orgânicas" abriu um imenso campo de pesquisa, subverteu uma das bases da tradicional teoria química, e, nas linhas traçadas por Lavoisier para a Química moderna, contribuiu decisivamente para seu ingresso no rol das Ciências positivas.

Seu rápido desenvolvimento, teórico e experimental, seria uma das características do avanço científico do período e um dos principais responsáveis pelo grande progresso industrial e tecnológico a partir da segunda metade do século XIX.

No exame da evolução da Química Orgânica, serão estudados, em capítulos à parte, "Antecedentes e Vitalismo", "Descoberta e Desenvolvimento", "Teorias da Estrutura Molecular", "Síntese na Química Orgânica" e "Nomenclatura".

---

[255] CRUMP, Thomas. *A Brief History of Science.*

6.21.4.1 Antecedentes e Vitalismo

Data da Antiguidade a distinção das substâncias em dois grandes grupos, quando médicos e alquimistas perceberam que haveria algumas matérias combustíveis (madeira, óleo, gordura) e outras não combustíveis (água, areia, algumas rochas). A acumulação de experimentos e de descobertas de corpos orgânicos, ao longo dos séculos, comprovaria, por outro lado, que as substâncias derivadas de "organismos vegetais e animais" (originários, assim, de matéria viva, ou organizada) seriam menos estáveis e mais reativos que a grande maioria dos compostos minerais, os quais, por sua vez, teriam a característica de suportar tratamento forte, como o aquecimento ou outro ainda mais violento[256]. A água, por exemplo, fervida e recondensada como água, ou então, o ferro ou o sal, liquefeitos e recongelados, voltavam a seus estados naturais. Por outro lado, o açúcar, a madeira e o óleo de oliva, completamente alterados pela ação do calor, esfumaçavam e ficavam carbonizados, sendo que o material restante não era açúcar, nem madeira e nem óleo, nem poderia ser "reconvertido" ao estado químico anterior. Tratava-se, portanto, de uma diferença fundamental de propriedades entre as duas categorias de substâncias.

A técnica do aquecimento para a determinação da composição percentual das substâncias orgânicas deve-se, inicialmente, a Lavoisier, Berzelius e Dumas. Liebig desenvolveria método que se tornaria clássico de análise, com a utilização do óxido de cobre na queima do composto de oxigênio, pesando-se, em seguida, os produtos da combustão[257].

Apesar das inúmeras experiências e de conhecida e praticada a conversão de substâncias orgânicas em inorgânicas, não foi possível aos químicos, até meados do século XIX, obter conversão do corpo inorgânico em orgânico. Em outras palavras, era possível decompor as substâncias e reconhecer seus componentes, porém sua reconstituição era considerada impraticável. Exemplos nesse sentido são as análises quantitativas, em 1811, de Gay-Lussac e Louis-Jacques Thénard, de corpos orgânicos; a composição dos corpos graxos de origem animal, por Chevreul, em 1815; e as descobertas dos alcaloides: a morfina (1804), por Friedrich Wilhelm. Serturner; a estricnina (1818), a brucina (1819) e a quinina (1820), por Pierre Joseph Pelletier e Joseph Caventou; a cafeína (1819), por Friedrich Ferdinand Runge; a berberina (1824), por Brandes, Büchner e Herberger; e a nicotina (1828), por Ludwig Reimann e Wilhelm Heinrich Posselt[258].

---

256 LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*
257 DAMPIER, William. *Pequena História da Ciência.*
258 ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

Diante de tal circunstância, era crença generalizada não ser possível fabricar artificialmente substâncias animais e vegetais, cuja produção dependeria de um processo orgânico, impossível de ser manipulado em laboratório. Essa teoria, conhecida como “vitalismo”, sustentava que a ação de uma “força vital”, existente nos organismos vivos, seria necessária para converter matéria inorgânica em orgânica, ou, em outras palavras, indispensável para a formação de moléculas orgânicas[259].

A descoberta de Wohler, em 1828, não convenceria, de imediato, a comunidade química, conforme atestam declarações de eminentes químicos, como Berzelius (“esta imitação é muito restrita para que possamos esperar produzir corpos orgânicos, assim como temos êxito, na maioria das vezes, em confirmar a análise dos corpos inorgânicos fazendo sua síntese”), ou Gerhardt, em 1842 (“Aqui demonstro que o químico faz justamente o oposto da natureza viva, que ele queima, destroi, opera por análise, que somente a força vital opera por síntese, que só ela reconstrói o edifício derrubado pelas forças químicas”)[260]. A teoria do vitalismo seria abandonada somente após as diversas comprovações laboratoriais de síntese de compostos orgânicos por Herman Kolbe, Adolphe Wurtz, August Hofmann e Marcellin Berthelot, em meados do século.

6.21.4.2 Descoberta e Desenvolvimento

No início do século XIX, a Química Inorgânica ou Mineral estava bastante mais pesquisada, e, assim, mais avançada que a Orgânica ou do Carbono. Esse atraso no conhecimento da composição e da estrutura dos compostos orgânicos deve ser atribuído a duas considerações principais, uma de origem filosófica, outra de origem técnica. A primeira, seria o vitalismo, que desencorajaria investigação sobre compostos orgânicos, uma vez que defendia ser possível somente à Natureza a transformação de matéria inorgânica em orgânica[261].

A principal causa desse atraso, contudo, talvez seja de origem técnica, explicável pela falta de certos conhecimentos indispensáveis ao desenvolvimento de uma Química da qual todos os seus compostos contêm carbono. Ainda que conhecido o carbono desde a Antiguidade, os demais elementos essenciais para a constituição dos compostos orgânicos só seriam descobertos no período final do século XVIII: o hidrogênio,

[259] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
[260] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*
[261] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

em 1765/66, por Cavendish; o nitrogênio, em 1772, por Rutherford; e o oxigênio, em 1772/74, por Scheele e Priestley.

Por outro lado, como o enorme número (mais de um milhão) de compostos orgânicos, muito superior que os dos inorgânicos, decorre quase que exclusivamente de apenas quatro elementos (C, O, N e H), como demonstraram Lavoisier e Berthollet, tiveram os químicos de enfrentar imensas dificuldades, em intensas e complexas pesquisas, a fim de descobrir a excepcional complexidade da estrutura molecular das substâncias orgânicas[262], como, por exemplo, a isomeria (substâncias com a mesma fórmula, mas com propriedades físicas e químicas diferentes) e a polimeria (substâncias com a mesma composição, mas fórmulas diferentes).

A data considerada de nascimento da Química Orgânica é 1828, ano em que o químico alemão Friedrich Wohler (1800-1882) obteve sucesso em sua experiência de transformar uma substância inorgânica em orgânica. Wohler, formado em Medicina, se dedicaria, por influência do químico Leopold Gmelin, à Química, tendo trabalhado, em 1823/24, sob a orientação de Berzelius, de quem se tornaria grande amigo. Em 1836, foi nomeado professor de Química da Universidade de Göttingen, onde permaneceria até sua morte. Efetuou vários estudos e pesquisas com Liebig, tendo, inclusive, colaborado no seu famoso *Anais de Química*, a mais prestigiosa publicação especializada na matéria, na época. Além de pioneiro na Química Orgânica, Wohler desenvolveu um processo de preparação do alumínio metálico e isolou os elementos ítrio (Y) e berílio (Be).

Em 1828, aquecendo cianato de amônia (NH_4CNO), que era considerado um composto de origem mineral, obteve Wohler ureia ($H_2N\text{-}CO\text{-}NH_2$), composto de origem animal. Escreveria Wohler que "posso fazer ureia sem ter necessidade de rim ou mesmo de um animal, seja ele um homem ou um cachorro"[263]. Apesar de verificado, posteriormente, tratar-se de um composto orgânico, pois o cianato de amônia contém carbono, o sucesso da experiência de Wohler foi celebrado como um feito extraordinário, no meio científico da época, apesar da descrença de alguns, como Berzelius e Gerhardt, e é considerado, assim, marco para o início da Química Orgânica.

A importância da conversão do ácido acético, obtida em 1843/44, por Hermann Kolbe, está na confirmação da descoberta de Wohler[264], bem como as dos corpos graxos, em 1854, do álcool etílico e do ácido fórmico,

262 BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
263 ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*
264 VIDAL, Bernard. *Histoire de la Chimie.*

em 1855; do metano, em 1858; do acetileno, em 1860; do etileno, em 1865; e do benzeno, em 1866, por Marcellin Berthelot.

6.21.4.2.1 Teorias da Estrutura Molecular

A nomenclatura e o simbolismo criados para designar as substâncias inorgânicas, de composição simples, indicavam apenas o tipo e o número de seus componentes (molécula de oxigênio – O_2; cloreto de hidrogênio – HCl; amônia – NH_3; sulfato de sódio – NA_2SO_4; etc). Essas fórmulas empíricas, baseadas em experimentos, deveriam corresponder a apenas um determinado composto, e, por conseguinte, não poderia haver dois compostos com a mesma fórmula. O aperfeiçoamento das técnicas e métodos de análise (Dumas, Liebig, Berthelot), na primeira metade do século XIX, permitiria avanço no conhecimento de compostos orgânicos simples para alguns mais complexos, como gordura, proteínas e amidos. As pesquisas, por exemplo, de Gottlieb Sigismund Kirchhoff, na conversão de goma (amido) em açúcar (1812); de Henri Braconnot, na obtenção do aminoácido glicina (1820); e de Michel Eugène Chevreul, sobre gorduras (1813/23), seriam as primeiras investigações sobre compostos orgânicos mais complexos, que se tornariam o grande desafio para os químicos dedicados a conhecer a estrutura das substâncias, ou seja, seu arranjo espacial ou sua arquitetura.

A noção de radical surgiria no final do século XVIII, com Lavoisier, que já tinha a ideia da existência de grupos de elementos no interior dos compostos, ou, em outras palavras, "um grupo de equivalentes" de vários elementos, que se transportava sem alteração de um composto a outro. Para Lavoisier, o oxigênio seria o elemento presente em todos os compostos; o radical era a porção de uma substância combinada com o oxigênio. Lavoisier distinguiria em cada agrupamento um elemento carburante e um combustível. Tal definição era ampla e abrangente demais, pois podia se aplicar a elementos e a grupos mais complexos: no ácido carbônico, o radical podia ser o carbono, e nos ácidos orgânicos podia ser o radical oxálico ou tartárico[265].

Com o advento da eletrólise e da teoria atômica, no início do século XIX, uma nova teoria, a do dualismo, de Berzelius, sustentaria que no composto haveria um corpo eletronegativo e um eletropositivo, que eram atraídos pelos polos opostos; assim, na eletrólise do sulfato de potássio, o ácido sulfúrico, elemento eletronegativo, é atraído para o polo positivo, e a potassa, para o polo negativo.

[265] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

6.21.4.2.2 Teoria dos Radicais e Isomerismo

Uma primeira evidência de radical foi encontrada por Gay-Lussac e Thénard, em 1810/15, em sua pesquisa com o cianato de hidrogênio (HCN), quando descobriram tratar-se tal composto de um ácido, apesar de não conter oxigênio, contrariando a afirmação de Lavoisier, de que o oxigênio era um elemento essencial dos ácidos; a propósito, Humphry Davy descobrira o mesmo em relação ao ácido hidroclórico[266]. Gay-Lussac e Thénard descobriram, ainda, que nas reações em que participava, o grupo cianato – CN – atuava como uma unidade e se encontrava nos compostos obtidos; em consequência, como o CN atuava como um simples átomo de cloro ou de bromo, o cianato de sódio (NaCN) tinha algumas das propriedades do cloreto de sódio (NaCL) e do brometo de sódio (NaBr).

Em 1824, Liebig e Wohler enviaram suas respectivas pesquisas com os fulminatos (ácido fulmínico) e com os cianatos a Gay-Lussac, que, na análise a que procedeu, constatou serem tais sais iguais (o cianato de prata e o fulminato de prata têm a mesma composição com suas moléculas, contendo um átomo, cada, de prata, carbono, oxigênio e nitrogênio). No ano seguinte, Faraday descobriria outro caso de substâncias com a mesma composição empírica, mas diferentes propriedades, como o butileno e o etileno[267]. A descoberta, em 1830, de dois compostos orgânicos, ácido racêmico e ácido tartárico, com diferentes propriedades, mas mesma fórmula empírica (hoje – $C_4H_6O_6$), por Berzelius, confirmaria a existência de isomerismo, termo criado pelo químico sueco para designar os compostos orgânicos em que os elementos estavam presentes na mesma proporção.

Diante da comprovação da existência de moléculas com o mesmo número do mesmo tipo de átomo, mas diferentes propriedades, ficou evidente que a diferença entre as moléculas deveria ser na maneira em que os átomos estavam "arrumados" na molécula; assim, cianato de prata seria AgOCN e o fulminato AgNCO. No caso das moléculas simples dos compostos inorgânicos, apenas um arranjo de átomos seria possível, pelo que não haveria caso de isomerismo[268]. Assim, H_2O é sempre e apenas água. A diferença de estrutura química das substâncias inorgânicas em relação às orgânicas era cada vez mais patente, pois enquanto as primeiras eram basicamente formadas por moléculas constituídas de apenas dois a oito átomos, as segundas eram bem mais complexas.

---

[266] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*
[267] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*
[268] VIDAL, Bernard. *Histoire de la Chimie.*

A complexidade dos compostos orgânicos, em que poderiam ocorrer dezenas de átomos numa molécula, era a evidência da dificuldade do problema da estrutura molecular, numa época em que não estavam, ainda, claras, inclusive, as noções distintas de átomo e molécula. Mais complexos que o grupo cianato descoberto, em 1815, por Gay-Lussac, seriam o grupo metilo (CH), por Dumas e Péligot, em 1824/26, com o álcool metílico (CH_3OH), e o grupo benzoilo (hoje C_7H_5O) descoberto, em pesquisa conjunta, por Wohler e Liebig, em 1832, do óleo da amêndoa amarga[269]. Em 1834, Liebig estabeleceria que o álcool e o éter formavam um simples grupo comum de elementos: o radical etilo C_2H_5.

A identificação dos diversos grupos ou radicais complexos e do fenômeno do isomerismo marcaria o declínio da teoria dualista, segundo a qual, nas substâncias orgânicas, os radicais seriam formados apenas pelo carbono (eletronegativo) e pelo hidrogênio (eletropositivo). O reconhecimento do grupo benzoilo (C_7H_5O) como radical (contém oxigênio, elemento eletronegativo) criaria problemas para a compatibilização da teoria dualista com a teoria dos radicais. Em 1833/34, Dumas, trabalhando no carbureto de hidrogênio com cloro notou que o "halógeno possuía o poder singular de se apoderar do hidrogênio e de o substituir átomo por átomo". Dumas seria prudente e se limitaria a consignar, apenas, o balanço de perdas e ganhos entre hidrogênio e cloro, sem tirar ou avançar qualquer conclusão a esse respeito[270]. Buscando uma adaptação às novas evidências, Berzelius passaria a advogar que todos os radicais seriam compostos de carbono e de hidrogênio, que estariam unidos ao oxigênio[271].

A teoria dos radicais parecia responder a todos os questionamentos sobre a composição das substâncias orgânicas. Apesar de suas próprias investigações, mas diante da reação de Berzelius, o químico francês, para não polemizar, não aprofundaria suas pesquisas. Em 1837, Dumas e Liebig, num trabalho conjunto, chamariam os radicais como os elementos da Química Orgânica: "Em Química Mineral os radicais são simples, em Química Orgânica são complexos, esta é a única diferença. As leis de combinação e de reação são, por sua vez, as mesmas para esses dois ramos da Química" (citado por Leicester).

---

[269] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

[270] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

[271] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

6.21.4.2.3 Teoria das Substituições

O brilhante químico Auguste Laurent (1807-1853) não concordava, contudo, com as ideias da teoria dualista de Berzelius sobre os compostos orgânicos, e continuaria a pesquisar, apesar da atitude assumida por Dumas, o mais influente químico na Academia de Ciências e na França. Adepto da teoria atômica defendia Laurent que os compostos orgânicos se dividiam em famílias ou grupos, constituídos em volta de certo agrupamento atômico, em que as cargas elétricas nada tinham a ver com a lei de formação desses grupos orgânicos. O núcleo (que poderia ser um átomo) da molécula orgânica poderia estar, assim, ligado a diferentes radicais. Todos os componentes de uma família teriam um mesmo núcleo, ao qual poderiam estar ligadas quaisquer das séries de radicais similares; no interior do radical, poderiam ocorrer variações. A teoria desenvolvida por Laurent é conhecida como "teoria dos núcleos". Em suas investigações, constataria Laurent, em 1836, que no ácido acético se poderia substituir o hidrogênio pelo cloro, ou seja, substituir um elemento eletropositivo, como o hidrogênio, por um eletronegativo, como o cloro ("no ácido acético, pode-se substituir três cloros aos três hidrogênios do radical CH_3 e obter assim o ácido tricloracético")[272]. Mesmo conhecido o resultado da pesquisa de Laurent, Berzelius continuaria a afirmar ser impossível substituir um elemento eletronegativo por um eletropositivo, ou vice-versa, já que, pela teoria dualista, a polaridade dos átomos era definitiva. A áspera controvérsia de Laurent com Berzelius, Liebig e Dumas sobre a teoria dualista prejudicaria as pesquisas de Laurent, que se viu impossibilitado de trabalhar nos laboratórios de Paris, e forçado a limitar sua vida profissional a poucos centros universitários no interior do país[273]. Laurent faleceu precocemente de tuberculose.

Pouco depois (1839), generalizada pelo próprio Dumas, ao estender ao bromo e ao iodo a capacidade de substituir o hidrogênio, a "teoria dos núcleos" viria a ser conhecida como "das substituições": na Química Orgânica, escreverá Dumas, há certos tipos que se conservam, mesmo quando substituem o hidrogênio que contêm, com a introdução de volumes iguais de cloro, de bromo ou de iodo[274].

---

[272] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*
[273] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*
[274] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

6.21.4.2.4 Séries Homólogas e Teoria dos Tipos

A identidade, que poderia ser alterada, de grupos ou famílias dentro de uma molécula orgânica, tornou necessário um sistema de classificação, que evidenciaria as leis que regulariam a combinação entre tais grupos radicais. O químico e farmacêutico francês Charles Gerhardt (1816-1856), amigo e colaborador de Laurent, daria duas importantes contribuições para a evolução teórica da Química Orgânica. A primeira seria a introdução (1844/45) da noção de "série homóloga", que simplificaria o estudo dos compostos orgânicos. Para Gerhardt, uma substância orgânica pertenceria simultaneamente a duas séries: a homóloga, constituída por substâncias tendo a mesma função química, mas com um número crescente de carbonos, e a série heteróloga, que reagrupa as substâncias (hidrocarbonetos, álcool, éter, ácidos, etc.) de mesmo radical. Na série homóloga de ácidos, o acético se situa entre os ácidos fórmico e o propiônico, e na série heteróloga, o acético tem o radical metilo (CH_3), como o metano ou o metanol[275]. O ácido benzoico, que não se enquadra na série homóloga dos ácidos, pertenceria, com seus derivados, a uma série especial – isóloga.

A segunda grande contribuição de Gerhardt seria a "Teoria dos tipos", apresentada em seu livro *Tratado de Química Orgânica*, de 1853, que supõe derivarem as substâncias orgânicas de moléculas que são tipos de base. Essas "moléculas-tipos" são corpos simples (como H2) ou corpos compostos, mas de poucos átomos (como NH3). Pela substituição de um ou mais de seus átomos dos radicais, pode-se obter uma série de compostos ligados ao tipo de base. Na elaboração de sua teoria, Gerhardt se basearia nos trabalhos, entre outros, de Jean-Baptiste Dumas (1800-1884) sobre álcool metílico e amílico, e sobre tipos químicos, de Auguste Laurent, relativos à Teoria dos núcleos [276]; de Charles Adolphe Wurtz (1817-1884) que, em 1848, estudou um grupo de compostos relacionados com amônia, chamado aminos, pertencentes a um tipo com núcleo orgânico, em que os radicais orgânicos substituíram um ou mais átomos de hidrogênio; de August Wilhelm Hoffmann (1818-1892), em 1850, em que substituiu átomos de hidrogênio do amoníaco pelo radical etilo; e de Alexander William Williamson (1824-1904), que entre 1850/53, pesquisou o álcool, o éter e o ácido acético, demonstrando pertencerem ao tipo água. Williamson previu a existência do anidrido acético – $(CH_3CO)_2{}^o$ –, o qual viria a ser preparado por Gerhardt em 1852[277]. Em 1853, Gerhardt

[275] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
[276] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
[277] VIDAL, Bernard. *Histoire de la Chimie.*

estabeleceria quatro tipos fundamentais: o da água, o das aminas, o do hidrogênio (alcanos) e o do cloreto de hidrogênio.

Apesar de arbitrária (anidrido e éter são do mesmo tipo, mas têm diferentes propriedades químicas), a Teoria dos tipos teve grande aceitação no círculo químico, já que poderia ser um instrumento importante para organizar o crescente número de compostos orgânicos estudados e preparados nos laboratórios.

6.21.4.2.5 Teoria da Valência

Um aspecto essencial mostrado pela teoria dos tipos era o de que o oxigênio do tipo água se combinava sempre com dois outros átomos ou radicais (com dois átomos de H forma água, com um átomo de H e um radical orgânico forma um álcool, e com dois radicais orgânicos forma um éter); o átomo de nitrogênio do tipo amoníaco, por sua vez, se combinava sempre com três outros átomos. Várias fórmulas de compostos orgânicos foram escritas aceitando, sem questionar, essa constância de ligações do oxigênio e do nitrogênio.

O químico inglês Edward Frankland (1825-1899), em seus estudos sobre as moléculas organometálicas, conseguiria, em 1850, sintetizar pequenas moléculas orgânicas nas quais certos metais, como o zinco, eram componentes, e combinava com dois radicais orgânicos. Até então, só se conheciam compostos orgânicos formados de elementos não metálicos (carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, enxofre, fósforo), com exceção de alguns, que continham arsênio (semimetal), estudados por Robert Wilhelm Bunsen. Prosseguindo em suas pesquisas, Frankland elaboraria, em 1852, a teoria que viria a ser conhecida como valência (termo criado por C. W. Wichelhaus (1842-1927), em 1868, do latim *valens* para força), de que cada átomo possuiria uma capacidade fixa de combinação com outros átomos. Assim, o átomo de hidrogênio, em condições normais, se combinaria somente com outro átomo, bem como o sódio, o cloro, a prata, o bromo, o potássio, todos com a valência de 1. O átomo de oxigênio pode combinar com dois outros diferentes átomos, o que corresponde a uma valência de 2; cálcio, enxofre, magnésio e bário também têm valência de 2. Os átomos de nitrogênio, fósforo, alumínio e ouro têm valência de 3; o ferro pode ter valência 2 ou 3. Exemplificando: o cloro, ligado a um átomo de hidrogênio no ácido clorídrico (HCl), tem uma valência de 1; o oxigênio, ligado a dois átomos de hidrogênio na água (H_2O), tem uma valência de 2; o nitrogênio, ligado a três átomos de hidrogênio no amoníaco (NH3), tem uma valência de 3.

Dessa forma, valência de um átomo é o número de átomos ao qual aquele átomo se pode ligar[278]. O conceito seria útil para esclarecer a diferença entre peso atômico e peso equivalente de um elemento, fonte de confusão e incerteza até meados do século XIX. Para o cálculo do peso atômico, por exemplo, um átomo de hidrogênio combina com um átomo de cloro, que, por ser 35,5 vezes mais pesado que o do hidrogênio, significa, também, que uma parte de H combina com 35,5 partes de Cl, ou, em outros termos, o peso atômico do cloro é de 35,5. No caso do oxigênio, seu peso atômico é 16, mas como cada átomo de O combina com dois átomos de H, já que a valência de O é de 2, o peso equivalente de O é a quantidade de O que combina com apenas uma parte de H, isto é, 16/2 ou 8. Para o átomo de nitrogênio, de peso atômico de 14 e valência de 3, sua combinação é com três átomos de hidrogênio, pelo que seu peso equivalente é 14/3 ou 4,7.

A noção de valência ou da capacidade de um ou mais átomos se combinarem com outros significaria um extraordinário avanço para o entendimento da estrutura dos átomos e moléculas, tanto dos compostos inorgânicos quanto dos orgânicos. A Química Orgânica atingira um ponto que já seria possível considerar a constituição dos radicais[279], questão que seria abordada simultânea e independentemente por Kekulé e Couper.

6.21.4.2.6 Teoria Estrutural

Friedrich August Kekulé (1829-1896) nasceu em Darmstadt, numa família de ascendência tcheca da aristocracia boêmia. Apesar de seu interesse, quando jovem, pela Botânica e pelas borboletas, e da insistência familiar para que estudasse Arquitetura, Kekulé passou a se interessar pela Química, em 1847, ao assistir a uma aula na Universidade de Giesen, dada por Justus von Liebig. Para completar sua formação, estudou na Suíça e na França (1852), com Charles Gerhardt, antes de se mudar para Londres, onde fez amizade com o químico Alexander Williamson. Nomeado professor das Universidades de Heidelberg (1856) e de Gand (1858), transferiu-se para a Universidade de Bonn em 1865. Seu mais importante livro foi o *Manual de Química Orgânica* (1861/87), em quatro volumes. Deve-se a Kekulé a definição (1861) da Química Orgânica como a Química do Carbono.

Quando em Londres, no fim de uma tarde de verão de 1854, ao regressar, de ônibus, para casa, Kekulé teve um devaneio e a visão

---

[278] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

[279] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

> de dois pequenos átomos se unirem para formar um par, como um maior abraçava dois menores; como um maior ainda se prendia a três ou até quatro dos menores, e o conjunto ficava rodopiando numa dança vertiginosa. Vi como os maiores formavam uma cadeia, arrastando os menores atrás deles... O grito do condutor "Rua Clapham" despertou-me do sonho... Assim começou a teoria estrutural.

Esse famoso depoimento de Kekulé, muitos anos depois do acontecimento, indica ter sido sua teoria concebida inteiramente em sua mente, sem ter conduzido qualquer experimento no laboratório, e seria o primeiro a receber o mérito da descoberta da existência de ligações entre os átomos[280]. Kekulé sustentaria que os átomos do carbono eram capazes de formar ligações múltiplas, além das simples, e que haveria diferentes tipos de ligações, unindo pares de átomos de carbono com átomos de outros elementos, como o hidrogênio. Isto significava que haveria diferentes tipos de compostos orgânicos: o etano, por exemplo, formado por uma ligação única entre C e H, e o etileno por uma ligação dupla entre C e H. De suas pesquisas, concluiu que o carbono tinha um poder quádruplo de combinação, isto é, era tetravalente, ou seja, cada átomo de carbono tem quatro elementos ligados a si, razão pela qual podia formar as longas cadeias de moléculas típicas dos compostos orgânicos: cada átomo de carbono teria quatro ligações com os átomos vizinhos (uma dupla com o átomo de carbono, uma simples com um átomo de carbono e uma simples com um átomo de hidrogênio). Em 1858, proporia Kekulé uma representação gráfica plana dos compostos orgânicos.

A teoria estrutural tem, assim, três ideias básicas inovadoras: a de que os carbonos podem combinar-se entre si para formar cadeias de qualquer complexidade e extensão; a de que o carbono é sempre tetravalente ou sua valência é sempre de quatro; e a de que a Análise das reações químicas do carbono fornece informações sobre a estrutura do elemento[281].

Como em outros famosos casos de simultâneas e independentes descobertas na História da Ciência (do oxigênio, por Priestley e Scheele; do cálculo, por Leibniz e Newton; da Tabela Periódica dos Elementos, por Meyer e Mendeleiev; da Evolução das Espécies, por Darwin e Wallace), a descoberta da tetravalência do carbono pode ser, igualmente, atribuída ao químico escocês Archibald Scott Couper (1831-1892), que trabalhou no laboratório de Wurtz, em Paris. No ensaio intitulado *Sobre uma nova*

[280] HORVITZ, Leslie Alan. *Eureca.*
[281] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*

teoria química, Couper avançou a noção da tetravalência do carbono e sua capacidade de formar cadeia. Quando, em maio de 1858, Couper aguardava as gestões de Wurtz para a leitura de seu trabalho na Academia de Ciência da França, saiu publicado o ensaio histórico de Kekulé. A obra de Couper foi lida na Academia, um mês depois, em junho de 1858. Diante de tal golpe, Couper teve uma crise nervosa, da qual nunca se recuperou, abandonando, aos 30 anos, sua carreira de cientista. A ideia de Couper de representar a ligação dos átomos por traços seria adotada, assim, água H-O-H, sulfureto de hidrogênio H-S-H, etc.

No Congresso Internacional de Química, em Karlsruhe (1860), a estrutura molecular dos compostos orgânicos receberia sua primeira grande organização.

O benzeno, composto de carbono, descoberto em 1825, por Michael Faraday, e cujo nome foi dado por August Wilhelm von Hoffmann, despertara o interesse dos químicos, pois se sabia que era composto de seis átomos de carbono e seis átomos de hidrogênio, mas não se sabia como combinar uma cadeia de tais átomos, preservando a tetravalência do carbono. Sua fórmula empírica é C_6H_6. Tratava-se de um tipo diferente de composto, ao qual Kekulé deu o nome de "aromático". Fórmulas estruturais foram propostas, entre 1858 e 1861, por Josef Loschmidt (1821-1895) e Couper, sem sucesso, por não poderem defendê-las com provas experimentais; no modelo de Loschmidt, o benzeno era representado por um círculo.

Dispunha Kekulé, recém-chegado à Universidade de Gand, de excelente laboratório, projetado e equipado segundo suas determinações, e completamente financiado. Por volta de 1865, além de preparar suas aulas e trabalhar em seu *Manual*, Kekulé dedicou-se ao problema da estrutura do benzeno. Como quando teve o devaneio que lhe mostrou a cadeia do carbono, Kekulé descreveria seu sonho que lhe deu a solução para o enigma. Estava trabalhando no *Manual*, mas seu pensamento estava disperso; cochilou e os átomos saltavam à sua frente, com os grupos menores permanecendo no fundo. Seu "olho mental" discernia estruturas mais amplas de conformação múltipla; longas fileiras rodavam e se contorciam em movimentos de cobra; de repente, uma das cobras havia agarrado a própria cauda e a forma rodopiava. Ao despertar, passou o resto da noite tentando entender as consequências da hipótese[282]. Inspirado no sonho, Kekulé proporia (1866) uma estrutura revolucionária para o benzeno, em que as moléculas de certos compostos orgânicos não seriam estruturas abertas, mas cadeias fechadas ou anéis em forma de hexágono, com ligações alternadas simples

[282] HORVATZ, Leslie Alan. *Eureca.*

e duplas[283]. Generalizando, sustentaria Kekulé tal estrutura complexa para todos os aromáticos. Apesar de algumas críticas à estrutura proposta (não exibiria as propriedades associadas à estrutura de dupla ligação, e não explicaria a combinação de dois isômeros do benzeno – dibromobenzeno, um com ligação simples e o outro com ligação dupla), a teoria estrutural era aceita, no final dos anos 1860, pela comunidade química, com exceção de Hermann Kolbe, inimigo reconhecido de Kekulé. Outros renomados químicos, como Julius Meyer (1830-1895) e Adolf von Baeyer (1837-1917), em 1865; Adolf Claus (1840-1900), em 1867, Albert Ladenburg (1842-1911), em 1869; e John Dewar (1842-1923), adiantariam outras representações, mas que seriam abandonadas, por inadequadas[284].

A contribuição de Kekulé à Química teórica transcende a identificação da estrutura do carbono e dos compostos aromáticos, ao fornecer uma base para a determinação das propriedades químicas e das estruturas internas das moléculas. No século XX, seria determinante para importantes avanços na Química e na Biologia e para o extraordinário desenvolvimento da indústria química (petroquímica, plástico, etc.).

O químico russo Alexander Mikhailovich Butlerov (1828-1886), professor da Universidade de Kazan, conhecera Kekulé e Couper em sua viagem a países da Europa, tornando-se convencido da correção da teoria estrutural, tendo sido, inclusive, o autor da expressão "estrutura química". Em 1860, escreveu uma série de trabalhos sobre o tema, particularmente sobre o fenômeno do "tautomerismo", no qual um composto pode ter duas estruturas com a substituição de um átomo de hidrogênio, e, em 1862, sugeriu que a tetravalência do carbono poderia ter um arranjo na forma de um tetraedro, antecipando-se, assim, a Van't Hoff e Le Bel.

A concepção da tetravalência imutável do carbono daria lugar, em 1899, à hipótese, sustentada por Friedrich Karl Thiele (1865-1918), da divisibilidade da valência, ou a de que a valência do carbono poderia se dividir em duas valências parciais, de forma a contornar alguns problemas com as três ligações duplas do benzeno.

6.21.4.3 Assimetria Molecular e Estereoquímica

Outra importante descoberta para o desenvolvimento da Química Orgânica, e melhor entendimento da estrutura molecular, seria realizada em 1848, por Louis Pasteur (1822-1895), com a chamada síntese assimétrica.

[283] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*
[284] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

Em comunicação à Academia de Ciências, em maio de 1848, Pasteur anunciou que alguns compostos químicos eram capazes de se dividir num componente “direito” e num “esquerdo”, sendo um o espelho do outro.

A descoberta de Pasteur se deveu à sua pesquisa cristalográfica do ácido tartárico (formado na fermentação da uva) e do ácido racêmico; ambos tinham a mesma composição química e a mesma estrutura ($C_4H_6O_6$), porém diferentes propriedades, isomeria descoberta, em 1830, por Berzelius. Pasteur mostraria que os sais do ácido racêmico consistiam de dois tipos de cristal que eram imagem de espelho um do outro; quando separados, os dois tipos de cristal rotavam o plano da luz polarizada para o mesmo grau, mas em direções opostas (um para a direita e outro para a esquerda). Em outras palavras, quando separadas e dissolvidas as duas espécies de cristais, uma das soluções girava o plano de polarização da luz para a direita, e a outra, para a esquerda. Essa propriedade dos cristais (ditos opticamente ativos) de fazer girar o plano da luz polarizada para a direita (substância destrógira) e para a esquerda (substância levógira) provém de sua estrutura[285]; a síntese no laboratório, de tais corpos, partindo de produtos opticamente inativos, será sempre de um composto inativo, porque é constituído de quantidades iguais de moléculas destrógiras e levógiras, que se compensam; na Natureza, ao contrário, as substâncias orgânicas só se encontram sob uma das formas: destrógira ou levógira. Assim, muitas substâncias obtidas a partir dos seres vivos são opticamente ativas, enquanto as sintetizadas em laboratório são inativas[286]. Um dos cristais do ácido racêmico seria idêntico ao ácido tartárico da fermentação, podendo ser utilizado, portanto, para a nutrição de micro-organismos, ao contrário do outro.

Pesquisas do químico alemão Johannes Wislecenus (1835-1902) sobre o ácido lático de fermentação e o muscular comprovariam, em 1878, que “as diferenças entre estes dois ácidos provinham de um arranjo espacial diferente dos átomos”[287], sendo o muscular opticamente ativo, e o da fermentação, inativo.

Em trabalhos independentes, o francês Jules Achille Le Bel (1847-1930) e o holandês Jacobus Henricus Van’t Hoff (1852-1911, PNQ-1901) apresentariam, em 1874, a teoria de que a assimetria nas moléculas resultava do arranjo físico dos átomos, pelo que a atividade óptica era devida à presença do carbono assimétrico, isto é, ligado, por suas quatro valências, a quatro átomos, ou grupo de átomos diferentes, num arranjo em que as quatro ligações estão direcionadas para o vértice de um tetraedro.

---

285 ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*
286 DAMPIER, William. *Pequena Historia da Ciência.*
287 WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

A obra de Van't Hoff, com a apresentação tridimensional da molécula, é considerada o início de um novo ramo da Química, conhecido como Estereoquímica, isto é, o estudo do arranjo espacial dos átomos nas moléculas e sua importância nas transformações químicas; até então, os químicos apresentavam a molécula num plano bidimensional[288].

O grande valor da descoberta da assimetria molecular seria mostrar que as propriedades biológicas das substâncias químicas dependem da natureza dos átomos de suas moléculas, e, também, da maneira como os átomos estão dispostos no espaço tridimensional[289], contribuindo, assim, para o conhecimento da estrutura molecular orgânica.

O químico suíço de origem alemã Alfred Werner (1866-1919, PNQ- 1913) estenderia as ideias de Van't Hoff e Le Bel a outros átomos além do carbono. A partir de 1893, elaboraria uma Teoria de Coordenação da Estrutura Molecular, pela qual as relações estruturais entre os átomos não eram estritamente ligações de valências simples, iônicas (Arrhenius) ou covalentes (Kekulé). Os átomos poderiam estar distribuídos em torno de um átomo central de acordo com princípios geométricos fixos, independentes do conceito de valência. Propôs Werner uma distinção entre valência primária e valência secundária de metal, a primeira relativa às ligações iônicas, enquanto a segunda se aplicaria a átomos e a moléculas. Certos metais, como cobalto e platina, seriam capazes, por suas valências secundárias, de juntar certo número de átomos ou moléculas; seriam os "compostos de coordenação", sendo que o número máximo de átomos que se podem juntar ao metal central é seu número de coordenação.

Juntamente com Kekulé e Van't Hoff, Werner é considerado como um dos fundadores da moderna teoria estrutural e espacial atômica[290].

6.21.4.4 Síntese na Química Orgânica

Paralelamente ao desenvolvimento teórico da Química Orgânica, seria igualmente significativo o progresso alcançado na síntese orgânica, particularmente na segunda metade do século XIX, apesar de seu pleno desenvolvimento ter ocorrido no século seguinte.

Os produtos naturais, até então única matéria-prima para a indústria, passariam a sofrer a concorrência crescente e eficiente de

---

[288] CRUMP, Thomas. *A Brief History of Science.*
[289] BERNAL, J. D. *Ciência na Historia.*
[290] JAFFE, Bernard. *Crucibles: The Story of Chemistry.*

produtos sintéticos criados em laboratório, os quais, em vários casos, tiveram suas pesquisas financiadas pela própria indústria, interessada em assegurar o fornecimento, em qualidade, quantidade e preço, da matéria--prima requerida pelas fábricas. A tradicional indústria têxtil seria a beneficiária do primeiro produto sintético, a anilina corante magenta, mas, em pouco tempo, seriam desenvolvidas substâncias orgânicas sintéticas (tintas, explosivos, proteínas, plásticos, perfumes, etc.) de uso em diversos setores industriais.

A partir da descoberta de Wohler, se sucederiam sínteses que confirmariam ser possível a conversão de substâncias inorgânicas em orgânicas[291], como a do ácido acético, em 1843/45, por Hermann Kolbe; a dos hidrocarbonetos, por Edward Frankland e Adolphe Wurtz; e a das aminas, por August W. Hoffmann, em 1850; a do éter, em 1851, por William Williamson; e as dos corpos graxos, em 1854, do álcool etílico e do ácido fórmico, em 1855, do metano, em 1858, do acetileno, em 1860, do etileno, em 1865, e do benzeno, em 1866, por Marcellin Berthelot. Em suas investigações sobre a síntese de açúcares e purina, Emil Fischer (1852-1919, PNQ-1902), obteria, em 1890, a síntese de diversos açúcares naturais (glicose, frutose, manose).

Apesar de alguns corantes sintéticos terem sido fabricados anteriormente, os procedimentos de síntese seriam sistematizados a partir de 1860, graças ao conhecimento da estrutura molecular adquirido pelo trabalho de Kekulé. Os químicos aprenderiam, por exemplo, como abrir anéis de átomos e formar anéis de cadeias abertas, como dividir grupos de átomos em dois, e como adicionar átomos de carbono, um por um, numa cadeia. Perkin e Hoffmann descobriram métodos para reações simples (reação Perkin e degradação Hoffmann). Algumas das grandes reações químicas[292] (as reações recebem o nome do descobridor do método) seriam: "síntese de Rudolf Fittig" (1864), "reação de Adolphe Wurtz" (1869), "reação de Friedel-Crafts" (1877), "reação de Schotten-Baumann" (1884), "reação de Sandmeyer" (1884), "reação de Sabatier-Senderens" (1897) e "reação de Grignard" (1901).

6.21.4.4.1 Corantes

Desde a Antiguidade, eram conhecidos os corantes naturais, extraídos de plantas (como o índigo e a alizarina), minerais (como lápis lázuli e manganês) e animais (como cochinilha), de grande valor comercial.

---

[291] VIDAL, Bernard. *Histoire de la Chimie.*

[292] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

A primeira síntese laboratorial de corante orgânico seria alcançada acidentalmente, em 1856, pelo químico inglês William Perkin (1838-1907), ao fabricar a magenta, quando pesquisava a síntese da quinina, com o objetivo de tornar a nascente indústria europeia independente do suprimento de quinino natural. Seguiram-se as sínteses da alizarina, outro corante (avermelhado), em 1868, por Karl Graebe (1841-1927) e Liebermann; do índigo (azul), por Adolf von Baeyer (1835-1917, PNQ-1905), em 1868/80; do violeta britânica e verde perkin, por Perkin; e de um grupo de corantes violeta, por August Hofmann. Interessante registrar, ainda, que Perkin teria, independentemente, desenvolvido a alizarina sintética, mas a teria patenteado um dia depois de Graebe e Liebermann, que trabalhavam para a BASF[293].

6.21.4.4.2 Plástico e Celuloide

Polímero de variada aplicação (combustível, material de construção, papel, têxtil, etc.), a celulose, principal componente da madeira, é explosiva como nitrocelulose; mas, quando mistura, que é o caso da "piroxilina" (madeira de fogo), é apenas inflamável, porém de fácil manuseio. A piroxilina pode ser dissolvida numa mistura de álcool e éter, a qual, ao evaporar, deixa uma película transparente, mas firme, conhecida como coloide. Em 1865, o químico e inventor inglês Alexander Parkes (1813-1890) descobriu que a piroxilina, dissolvida no álcool e éter e misturada com a cânfora, evaporaria, deixando um resíduo sólido, mas maleável e macio, quando aquecido. O inventor americano John Wesley Hyatt (1837-1920), ao participar de um concurso para a fabricação de bola de bilhar que substituísse as de marfim, faria experiências com a piroxilina utilizando o processo de Parkes, porém com menos álcool e éter, e mais calor e pressão. Em 1869, criou o que chamou de celuloide, o primeiro material plástico sintético, e ganhou o prêmio do concurso.

Facilmente moldável, a piroxilina (nitrocelulose) seria utilizada na fabricação de fibras e películas. Assim, o químico francês Louis Marie Bernigaud, conde de Chardonnet (1839-1924), produziria fibras ao forçar soluções da piroxilina a atravessarem pequenos buracos; o solvente, ao esguichar, evaporava imediatamente, deixando atrás um filamento que podia ser tecido num material com o brilho e as características da seda. Chardonnet patenteou sua descoberta em 1884, com o nome de "rayon" (pela semelhança com o brilho do raio solar).

[293] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

O plástico, na forma de película, surgiu na fotografia, por obra do inventor americano George Eastman (1854-1932). Em 1880, aperfeiçoaria o processo de secar a emulsão de compostos de prata com gelatina, e, em 1884, substituiria a lâmina de vidro por uma película de celuloide, tornando fácil e simples o processo fotográfico.

As fibras sintéticas e os plásticos, em geral, viriam a ter um extraordinário desenvolvimento tecnológico no século XX, servindo de matéria-prima para importantes setores industriais.

6.21.4.4.3 Explosivos

A celulose reage explosivamente à mistura do ácido sulfúrico com o ácido nítrico. Essa descoberta, acidental, em 1846, é devida ao químico alemão Christian Friedrich Schonbein (1799-1868), que descobrira, em 1839, o ozônio (variedade do oxigênio). O composto, conhecido como nitrocelulose, além de ser o explosivo mais poderoso até então criado, tinha a vantagem sobre a pólvora de não produzir fumaça. Dado o aperfeiçoamento de métodos para a remoção dos pequenos resíduos explosivos, o manuseio da nitrocelulose ficou mais seguro, o que permitiria aos químicos ingleses James Dewar (1842-1923) e Friedrich Abel (1827-1889) avançar na pesquisa com a inovação, em 1889, de misturar nitrocelulose com nitroglicerina, adicionando vaselina à mistura. O explosivo, que não produzia fumaça, foi chamado de cordite.

Em 1847, o químico italiano Ascanio Sobrero (1812-1888) descobrira a nitroglicerina, ao tratar glicerol com uma mistura de ácido nítrico e ácido sulfúrico, mas, por se tratar de um explosivo altamente perigoso, não divulgaria a informação. No entanto, em 1859, o químico sueco Alfred Bernhard Nobel (1833-1896) construiu uma fábrica para produzir a nitroglicerina, um explosivo líquido, porém uma explosão resultou na morte de seu irmão e na destruição da fábrica (1864)[294]. Nobel iniciaria pesquisas para descobrir um explosivo estável, a dinamite, resultante da mistura da nitroglicerina com uma "terra absorvente", chamada *kieselguhr*, na proporção de 3 para 1; Nobel criou também o detonador, sendo que os dois materiais foram patenteados em 1867.

O TNT (Trinitrotolueno), preparado em 1853, por Joseph Willbrand, seria mais utilizado em obras e construções civis, a partir do fim do século, por ser um explosivo químico menos poderoso e mais difícil de detonar que o trinitrofenol[295].

[294] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[295] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

6.21.4.4.4 Perfumes

Desde a Antiguidade (Egito, Mesopotâmia, China, Fenícia), era conhecido o perfume (do latim *per fumum* = pela fumaça), utilizado em rituais religiosos e como fragrância. Rosa, lilá, violeta, crisântemo e outras flores eram as matérias-primas naturais usadas na preparação dos perfumes, até meados do século XIX.

Em 1874, Johann Karl Tiemann (1848-1899), que pesquisava fragrâncias, obteria a síntese laboratorial da vanilina, e, em 1893, da "ionona".

Em 1875, William Perkin, que já sintetizara os corantes magenta e alizarina, sintetizaria a "cumarina" (substância originária da Amazônia), que serviria de base para a moderna indústria de perfume, a qual se desenvolveria no século seguinte com as investigações de Otto Wallach e Leopold Ruzicka[296].

6.21.4.4.5 Proteínas

O químico alemão Hermann Emil Fischer (1852-1919) recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1902 "em reconhecimento pelos serviços extraordinários prestados por seu trabalho na síntese de açúcar e purina"; no caso da purina, suas pesquisas se estenderam de 1882 a 1896. Determinou as estruturas de alguns compostos (ácido úrico, xantina, cafeína e outros) que derivavam de um mesmo composto, de base nitrogenosa, a que chamou de purina e sintetizou vários dessas substâncias (cafeína); quanto ao açúcar, sintetizou a glicose, a frutose e a manose, em 1890, e estabeleceu a configuração estereoquímica de todos os conhecidos açúcares. Liebig havia estabelecido três grandes grupos de compostos orgânicos: proteínas, que contêm carbono, hidrogênio, nitrogênio, e, algumas vezes, enxofre e fósforo; gorduras, que contêm carbono, hidrogênio e oxigênio; e carboidratos, que contêm carbono, hidrogênio e oxigênio, estes dois últimos em proporções em que se encontram na água. Desses, o composto mais complexo é a proteína, sendo que, desde então, nenhum progresso significativo ocorrera para um melhor entendimento desse aminoácido.

Durante anos, dedicou-se Fischer ao estudo e investigações sobre a estrutura das proteínas, vindo a estabelecer método para a purificação de aminoácidos e determinação de como eles se combinam dentro da molécula da proteína, bem como para formar substâncias semelhantes às peptonas

[296] ASIMOV, Isaac. *New Guide to Science.*

produzidas pela ação dos fermentos digestivos sobre as proteínas. Antes do fim do século, já se progredira, portanto, no sentido de determinar a natureza e os possíveis métodos de síntese de alguns constituintes dos organismos vivos[297].

6.21.4.5 Nomenclatura

O rápido e grande desenvolvimento da Química Orgânica, no curto prazo de tempo de pouco mais de 60 anos, mostrou a necessidade inadiável de se estabelecer certa ordem na crescente confusão que existia na designação dos compostos orgânicos. A falta de critérios na nomenclatura e simbolismo gerava uma situação prejudicial para o desenvolvimento e a divulgação das pesquisas. Na ausência de normas preestabelecidas, os pesquisadores criavam designações, a seu critério, para os compostos que descobriam. A exemplo do que ocorrera com a Química Inorgânica, com os trabalhos pioneiros de Lavoisier e Berzelius, a comunidade química internacional considerou necessário, no final do século, para resolver esse problema, a adoção de critérios universalmente aceitos para a designação dos compostos orgânicos

Sob a presidência do químico e mineralogista francês Charles Friedel (1832-1899), descobridor do processo conhecido como "reação Friedel--Crafts", realizou-se, em abril de 1892, a Conferência Internacional de Química, em Genebra, com o objetivo de adotar critérios de nomenclatura para as substâncias orgânicas. A Conferência de 1892 marca o início da nomenclatura oficial moderna. Os corpos, segundo suas funções, seriam designados pela desinência "ano" para os hidrocarbonetos saturados alcanos (metano, etano, butano, propano, pentano, etc) e pela "eno" para os não saturados (etileno, propileno); os aldeídos (grupo carbonila ligado a carbono primário) por "al"; os cetona (grupo carbonila ligado a carbono secundário) por "ona"; e os ácidos por "ico" (ácidos sulfúrico, acético, nítrico).

6.21.5 Vínculos com Outras Ciências

Na medida em que se aprofundava o conhecimento dos fenômenos químicos, avançavam as pesquisas sobre os elementos simples e as substâncias compostas, progrediam as investigações sobre o processo químico, e se aperfeiçoavam as técnicas e os métodos de análise e síntese, se estreitavam os vínculos da Química com outras Ciências, em particular a Física e a Biologia. Progressos nas descobertas e pesquisas

[297] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*

nessas Ciências seriam de mútuo benefício, porquanto suas áreas de estudos e investigações tinham extensas fronteiras de difícil delimitação.

Ainda que trabalhos pioneiros de grande importância tenham sido realizados na primeira metade do século XIX, deve-se considerar que as ciências interdisciplinares da Físico-Química e da Bioquímica se estruturaram e se formaram no final do século, sendo que o desenvolvimento da Bioquímica seria mais lento e pouco mais tardio. Esse processo de ampliação de área de competência e de vinculação da Química se acentuaria com a crescente aplicação do espírito científico e positivo, do qual se beneficiaria, em suas pesquisas.

6.21.5.1 Físico-Química

Ainda que os fenômenos físicos, como a eletricidade e o calor, tenham sido usados, desde o início do século XIX, nas pesquisas para explicar fenômenos químicos, somente na segunda metade do século as investigações seriam efetuadas, basicamente por químicos, por meio de técnicas e métodos apropriados, na busca de entendimento e explicação para os fenômenos. A Físico-Química é considerada, assim, como tendo sido constituída a partir dos estudos e das descobertas de Ostwald, Van't Hoff, Raoult e Arrhenius[298].

Quatro principais ramos podem ser identificados na Físico-Química: a Eletroquímica, a Termoquímica (e o processo da catálise), a Cinética-Química e a Fotoquímica.

6.21.5.1.1 Eletroquímica

Imediatamente após a invenção da pilha elétrica, em 1800, por Alessandro Volta, a eletricidade ocuparia um papel de destaque no processo de Análise Química. William Nicholson (1735-1815) e Anthony Carlisle (1768-1840) empregaram a eletrólise, no mesmo ano de 1800, para a decomposição da água; Humphry Davy isolaria o sódio, o potássio, o cálcio, o magnésio, o bário e o estrôncio, e demonstraria que o ácido clorídrico não contém oxigênio; e Berzelius basearia sua teoria dualista na Eletroquímica. Em 1833/34, Michael Faraday elaboraria sua Teoria da Condutibilidade Eletrolítica, baseada nos íons, diminutas partículas condutoras de eletricidade (de carga positiva, cátions; e negativa, ânions) existente nas soluções químicas e formularia as duas leis quantitativas, a

[298] VIDAL, Bernard. *Histoire de la Chimie.*

de que iguais quantidades de eletricidade produzem iguais quantidades de decomposição, e a de que quantidades de diferentes substâncias depositadas nos eletrodos, pela passagem da mesma quantidade de eletricidade, eram proporcionais a seus pesos equivalentes[299].

Em 1853, Johann Wilhelm Hittorf descobriria que os íons podiam movimentar-se com velocidades desiguais, de modo que uns íons podiam chegar a um eletrodo antes de outros atingirem o polo oposto, o que levaria à noção de número de transporte, índice em que um determinado íon transportaria a corrente elétrica.

Os trabalhos de Wilhelm Pfeffer (1845-1920), de François Marie Raoult (1830-1901), e de Jacobus Henricus Van't Hoff (1852-1911), na Química das soluções e em Termoquímica, viriam a ser da maior relevância para as futuras pesquisas na Eletroquímica.

O botânico Pfeffer, ao estudar, em 1877, as propriedades das membranas semipermeáveis (que não deixam passar as moléculas grandes, como as proteicas), redescobriu o fenômeno da "osmose" (descoberto pelo botânico Henri Dutrochet, em 1827), relativo à passagem do solvente de uma solução através de membrana semipermeável do soluto. Separada uma solução da água por uma membrana semipermeável, a água penetra pela membrana para diluir a solução; se esta for impedida de crescer, ocorrerá uma "pressão osmótica". Pfeffer demonstrou, também, ser possível medir tal pressão, isto é, o excesso de pressão que deve ser exercida sobre a solução para impedir a passagem do solvente através da membrana semipermeável; Pfeffer mediu essa pressão em soluções de açúcar de cana, usando membranas quimicamente depositadas nas paredes de vasos porosos[300]. Deve ser assinalado, ainda, que as pesquisas eletroquímicas, no início do século, eram efetuadas com soluções aquosas, pelo que pouco se sabia sobre o efeito do solvente sobre o corpo dissolvido[301].

As investigações do químico Raoult, iniciadas em 1878, sobre as propriedades das soluções, e em particular sobre os efeitos de uma substância dissolvida no rebaixamento do ponto de congelamento das soluções, lhe permitiriam medir as massas moleculares das substâncias a partir da temperatura de congelamento de suas soluções, as quais se mostravam sempre abaixo do ponto de congelamento de um solvente. Em 1882, enunciaria sua lei de que o rebaixamento do ponto de congelamento de um solvente é proporcional à massa da substância dissolvida dividida

[299] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*
[300] DAMPIER, William. *Pequena História da Ciência.*
[301] VIDAL, Bernard. *Histoire de la Chimie.*

pelo peso molecular da substância. Essa regra permitiria calcular o número relativo de partículas (átomos, moléculas ou íons) da substância dissolvida (soluto) e do líquido no qual é dissolvida (solvente). De acordo com suas pesquisas, a pressão osmótica do soluto no solvente é diretamente proporcional ao número de moléculas do soluto em relação às moléculas do soluto, o que permite calcular o peso molecular de substâncias em solução. Raoult seria capaz de mostrar que o rebaixamento do ponto de congelamento da água causado por um sal inorgânico era o dobro do causado por um soluto orgânico, com o mesmo peso molecular. Essa anomalia seria estudada por Arrhenius, razão da formulação de sua teoria da dissociação iônica.

Em 1885, Jacobus Henricus Van't Hoff (1852-1911), em seus estudos sobre Termodinâmica e cinética das soluções, mostrou o significado teórico do trabalho empírico de Raoult, insistindo sobre a analogia que existe entre as moléculas em solução diluída e as moléculas em estado gasoso. Com base em estudo da osmose, Van't Hoff formularia a lei de que toda a matéria dissolvida exerce, sobre uma parede semipermeável, uma pressão osmótica igual à pressão exercida no mesmo volume por uma matéria gasosa contendo o mesmo número de moléculas[302], ou seja, as substâncias dissolvidas obedeciam à mesma lei que os gases[303]. O trabalho de Van't Hoff foi publicado em 1884 com o título de *Estudos sobre dinâmica química*.

Por essa época (1874/84), Friedrich Kohlrausch (1840-1910) investigava a condutibilidade de soluções, e descobrira que todos os íons de um mesmo elemento, independentemente do composto do qual se tenham formado, se comportavam da mesma maneira; a velocidade dos íons não era afetada por opostos íons carreados[304].

Apesar de Faraday haver designado o íon como a partícula condutora da eletricidade através de uma solução, havia ainda, passados 50 anos, dúvidas e incertezas sobre o que era realmente um íon.

O químico sueco Svante August Arrhenius (1859-1927, PNQ-1903) apresentou suas ideias sobre dissociação iônica em sua tese de doutorado, em 1884, publicada como *Pesquisa sobre a condutibilidade galvânica dos eletrólitos*.

Desde estudante, na Universidade de Uppsala, se interessara Arrhenius pelo problema da passagem da eletricidade por soluções, chamando-lhe a atenção o fato de que certas substâncias (cloreto de sódio, cloreto de bário, brometo de sódio, brometo de potássio, nitrato de sódio),

[302] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[303] JAFFE, Bernard. *Crucibles: The Story of Chemistry.*
[304] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

em solução, são condutores de eletricidade, sendo, assim, eletrólitos, e outras, como os açúcares, não a conduzem, e são, portanto, não eletrólitos. Raoult acabara de demonstrar que para as substâncias não condutoras de eletricidade o grau de abaixamento do ponto de congelamento era proporcional ao número de partículas presentes na solução.

A situação com os eletrólitos, contudo, era diferente, já que, por exemplo, uma quantidade determinada de cloreto de sódio, formada por um número certo de moléculas, teria um grau de rebaixamento duas vezes maior que o grau esperado; o mesmo ocorreria com outros eletrólitos, como o brometo de potássio e o nitrato de sódio, o que significaria que de cada molécula desses compostos surgiriam duas partículas. Outros eletrólitos, como o cloreto de bário e o sulfato de sódio, triplicavam o grau de rebaixamento do ponto de congelamento, o que indicaria que cada molécula desse tipo deveria formar três partículas.

Esse comportamento anômalo dos eletrólitos explicaria, por outro lado, propriedades que dependem do número de partículas presentes na solução, como a pressão osmótica.

Para Arrhenius, uma explicação plausível seria a divisão, por exemplo, do cloreto de sódio em duas partículas: cloreto e sódio, tão logo o composto fosse colocado em solução; como o sódio e o cloro deviam possuir cargas elétricas, a solução do cloreto de sódio permitia a passagem da corrente elétrica.

A tese, submetida em 1884, por Arrhenius, recebeu a nota mínima dos examinadores de Uppsala, o que significava, na realidade, ter sido rechaçada a ideia central de que somente os íons participavam das reações químicas.

Sustentava Arrhenius a teoria de que, quando um sal sólido (cloreto de sódio) era dissolvido em água, uma importante mudança invisível ocorria. A água e o sal seriam não condutores de eletricidade (não eletrólito); mas, em solução, as moléculas do cloreto de sódio se dividiriam ou se dissociariam em íons. Para Faraday, os íons eram produzidos pela corrente elétrica; segundo Arrhenius, os íons já estariam presentes na solução, antes da corrente elétrica. Na mistura (solução), não haveria mais moléculas de cloreto de sódio, apenas íons de sódio e de cloro, isto é, todas as moléculas diluídas em solução estavam desintegradas[305] e carregadas eletricamente, como íons.

A tese, absolutamente revolucionária, de Arrhenius, que, para muitos, marca a criação da ciência nova da Físico-Química, entrava em choque com os ensinamentos de Faraday, aceitos, até então, sem qualquer contestação, e significava uma confirmação da existência do átomo[306],

[305] JAFFE, Bernard. *Crucibles: The Story of Chemistry.*
[306] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

no caso com cargas elétricas. A tese seria, assim, inaceitável para muitos atomistas, adeptos da teoria de Dalton, e para todos os não atomistas.

Diante da oposição na Suécia, procurou Arrhenius apoio no meio científico europeu, enviando cópias de sua tese a Rudolf Clausius, formulador da 2ª lei da Termodinâmica; a Oliver Lodge, físico inglês, pesquisador na área de ondas eletromagnéticas; a Lothar Meyer, autor de uma tabela de elementos, publicada pouco depois da Tabela Periódica de Elementos; de Mendeleiev, mas esses cientistas ou não responderam ou não reconheceram o valor do trabalho do jovem químico sueco.

No entanto, Friedrich Wilhelm Ostwald, ao receber a tese, ficou tão entusiasmado que, poucos dias depois, viajou de Riga para Estocolmo, onde se encontraria com Arrhenius, em agosto de 1884. Imediatamente Ostwald compreendeu a importância e as possibilidades abertas com a Química dos íons: diminutas partículas de matéria, com cargas elétricas extremamente pequenas, transportariam corrente elétrica através das soluções, e, ao atingir os eletrodos, descarregariam sua eletricidade e voltariam a seu estado atômico; isso ocorria sempre que um ácido inorgânico, álcali ou sal era dissolvido em água. Convencido de que as reações químicas em solução eram reações entre íons, Ostwald se tornaria o grande defensor da obra de Arrhenius, de quem se fez grande amigo e admirador. O outro grande apoio recebido seria do químico holandês Van't Hoff, que muito colaboraria, também, para o sucesso da teoria da dissociação dos íons[307]. De 1886 a 1890, trabalharia Arrhenius com ilustres cientistas, como Ostwald, em Riga, Kohlrauch, em Würzburg, Boltzmann, em Graz, e Van't Hoff, em Amsterdã, período em que refinaria sua teoria e ganharia adesões.

Em 1887, Arrhenius publicaria sua obra clássica, *Sobre a dissociação de substâncias em soluções aquosas*, na revista científica de Ostwald – *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, ao lado da *Memória* de Van't Hoff sobre a analogia entre os gases e as substâncias dissolvidas. Apesar da conquista de alguns adeptos e de ter recebido uma divulgação internacional, importantes cientistas da época, como Kolbe, Mendeleiev, Kelvin, Pickering, Tilden e Kahlenberg[308] continuariam a se opor, com diversos argumentos, como o de que haveria algumas reações em soluções, as quais, por não conduzirem corrente elétrica, não teriam, segundo Arrhenius, íons, ou o de que o nitrato de prata dissolvido em solução de benzonitrilo, que não contém íons, permite, contudo, a corrente elétrica atravessá-lo.

No final do século XIX, a teoria da dissociação iônica já era aceita pela comunidade científica. A Eletroquímica continuaria a despertar

[307] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*
[308] JAFFE, Bernard. *Crucibles*: *The Story of Chemistry.*

interesse na comunidade química do século XX, quando seria objeto de importantes pesquisas e novos desenvolvimentos.

6.21.5.1.2 Termoquímica

A *Teoria Analítica do Calor* (1822), de Fourier; o princípio, enunciado por Nicolas Sadi Carnot, em *Reflexões sobre o Poder do Calor* (obra póstuma de 1824); a teoria mecânica do calor (1834), de Benoit Paul Clapeyron; e a teoria matemática do calor (1835), de Poisson, foram os principais estudos pioneiros para a formulação, nos anos 1849-50, das leis da Termodinânica, a primeira (Lei da Conservação da Energia), de Julius Mayer, Colding, Joule e Helmholtz (1847), e a segunda (Lei da Entropia), de Kelvin e Clausius (1850), com posteriores contribuições de Boltzmann e Maxwell.

Ainda em meados do século XIX, a generalização da Termodinâmica (das palavras gregas para "movimento do calor") ao estudo das reações químicas daria nascimento à Termoquímica. Além do calor do Sol, as outras principais fontes de energia, no século XIX, eram a queima da madeira, do carvão e do óleo. Reações químicas envolvem calor, como a neutralização de ácidos por bases; na realidade, todas as reações químicas envolvem alguma transferência de calor, seja pela emissão, seja pela absorção de calor.

O químico suíço-russo Germain Henri Hess (1802-1850) demonstraria, em estudo publicado em São Petersburgo, no ano de 1840, que, pela medição da real quantidade de calor envolvida em reações químicas de quantidades fixas de algumas substâncias, a quantidade de calor produzida (ou absorvida), ao passar de uma substância para outra, era a mesma, sem importar como tivera ocorrido esta mudança ou em quantas etapas. Em outras palavras, o calor nas reações químicas era independente das etapas intermediárias do processo[309], ou, a quantidade de calor liberada ou absorvida durante uma reação química depende apenas da etapa inicial e da etapa final, sem importar as etapas intermediárias[310]. De acordo com Hess, a lei da conservação de energia se aplicaria tanto às mudanças físicas quanto às químicas, isto é, as leis da Termodinâmica seriam aplicáveis à Física e à Química. Por essa razão, Hess é considerado o fundador da Termoquímica.

O químico dinamarquês Hans Peter Jörgen Julius Thomsen (1826-1909) mostraria, em 1852, que também nas reações químicas o fluxo de

[309] VIDAL, Bernard. *Histoire de la Chimie.*
[310] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

calor espontâneo se direcionava de um ponto mais alto a um mais baixo de temperatura, tendo, inclusive, medido essas quantidades em algumas reações.

Em 1869, August Friedrich Horstmann (1843-1929) aplicaria o conceito de entropia, em seu estudo sobre a sublimação do cloreto de amônia, e mostraria que o processo seguia as mesmas leis da vaporização de um líquido.

Pouco mais tarde, Marcellin Berthelot (que introduziria os termos exotérmico e endotérmico) criaria método para provocar reações químicas numa câmara fechada, ilhada por água em temperatura conhecida; dessa forma, pela elevação da temperatura dessa água, ao final da reação, seria possível medir a quantidade de calor envolvida na reação. Nessas pesquisas, Berthelot utilizaria um calorímetro que aperfeiçoara. Na base dessas investigações, publicaria *Mecânica química fundada sobre a Termoquímica* (1879), no qual enunciaria seu "princípio do trabalho máximo": todas as mudanças químicas que ocorram sem intervenção de energia externa tendem à produção de corpos ou de sistema de corpos que liberam mais calor. Mais tarde Walther Nernst (1864-1941), formulador da 3ª lei da Termodinâmica, mostraria que esse princípio seria verdadeiro apenas para temperaturas próximas ao zero absoluto[311].

O cientista americano Josiah Willard Gibbs (1839-1903), professor de Física matemática na Universidade de Yale, publicaria vários trabalhos entre 1873 e 1876, sobre teoria termoquímica. Sua mais importante contribuição consta de seu estudo, de 1876, sobre o equilíbrio de substâncias heterogêneas com os conceitos de energia livre (quantidade que incorpora calor e entropia – quando a energia livre decresce, a entropia aumenta e a reação é espontânea) e de potencial químico (força propulsora das reações químicas – a reação química se move espontaneamente de um ponto de alto potencial químico a um de baixo potencial, como o calor flui espontaneamente de um ponto de alta temperatura para um de baixa). Desse trabalho, consta a famosa equação "regra da fase", que Gibbs aplicaria para o equilíbrio das diferentes fases (líquida, sólida e gasosa) incluídas num sistema químico. Por essa equação, seria possível prever a maneira pela qual temperatura, pressão e concentração de vários componentes poderiam variar sob todas as combinações de componentes e fases. Por exemplo, a água líquida e a água vapor (um componente, duas fases) poderiam coexistir em diferentes temperaturas e pressões, mas, se a temperatura era fixa, a pressão deveria ser também. No caso, de água líquida, água vapor e gelo (um componente, três fases) todos os três podiam coexistir

[311] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

a uma temperatura e pressão. A obra de Gibbs só viria a ser conhecida e apreciada na Europa após sua tradução para o alemão e divulgação por Ostwald, em 1892, e para o francês, em 1899, por Le Chatelier.

Os trabalhos de Berthelot e Gibbs seriam, cronologicamente, os últimos de real importância no campo da Termoquímica no século XIX.

No último quarto de século, a Alemanha tinha a liderança no estudo das mudanças físicas ligadas às reações químicas, sendo Friedrich Wilhelm Ostwald (1853-1932, PNQ-1909) o mais importante pesquisador em Físico-Química, e considerado o principal responsável pelo seu reconhecimento como disciplina independente. Ostwald, assistente de Física em Dorpat (Estônia), onde se formara, em 1875, professor da Universidade de Riga, em 1881, e de Leipzig, em 1887, diretor do Instituto de Físico-Química, se estabeleceria, a partir de 1906, na Saxônia. Fundou, em 1887, com Van't Hoff, a *Revista de Físico-Química*, a primeira publicação especializada no assunto, e escreveu, em dois volumes, *Manual de Química Geral* (1885/87). Seu trabalho sobre catálise, que definira, em 1894, como "a aceleração de uma reação química que procede lentamente, pela presença de uma substância estranha", lhe valeu o Prêmio Nobel de Química (PNQ) em 1909.

Berzelius, em 1835, criou o termo "catálise" para significar o processo pelo qual a taxa de uma reação química pode ser acelerada pela presença de pequenas quantidades de uma substância que não participa, aparentemente, dessa reação[312]; o catalisador está intacto ao final da reação. Gustav S. Kirchhoff (1812), Humphry Davy (1816), Thénard (1818) e Dobereiner (1823) foram os primeiros a descobrir esse processo, com a utilização de ácidos e platina.

Em meados do século, acreditavam alguns químicos que a catálise era devido à formação de compostos intermediários com o catalisador, enquanto outros aceitavam tratar-se de uma ação elétrica[313]. Em 1854, Alexander Williansom mostrou como, na fabricação de éteres do álcool, seria necessário utilizar um ácido como catalisador.

Em 1888, o físico-químico francês Henri Louis Le Chatelier (1850-1936) enunciaria a regra conhecida como o "princípio Le Chatelier", pelo qual qualquer mudança de um fator de equilíbrio implica num rearranjo do sistema na direção para minimizar a mudança original, ou seja, se um sistema em equilíbrio é colocado sob pressão crescente, ele se rearranja para decrescer a pressão. Se a temperatura sobe, haverá uma mudança para absorver calor e abaixar a temperatura.

Em 1894, ao preparar um sumário a ser publicado em sua revista, sobre artigo de um químico a respeito do calor da combustão nos alimentos,

---

312 LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

313 VIDAL, Bernard. *Histoire de la Chimie.*

Ostwald discordaria totalmente das conclusões do autor. Assinalaria Ostwald que, de acordo com a teoria de Gibbs, seria necessário supor que os catalisadores aceleravam a reação química sem qualquer modificação das relações de energia entre as substâncias nela envolvidas. Os catalisadores cumpriam suas funções baixando a energia de ativação, princípio formulado por Arrhenius. Posteriormente, Ostwald incluiria os íons, também, como catalisadores. Assim, ao final do século, se estabelecia o conceito moderno de catálise, fenômeno de grande relevância para a Química industrial.

6.21.5.1.3 Cinética Química

Estudos pioneiros de Karl Friedrich Wenzel (1740-1793), na tentativa (1777) de determinar a taxa em que os ácidos dissolveriam os metais, e de Claude Louis Berthollet (1748-1822), sobre o efeito das condições de equilíbrio nas reações químicas, não teriam prosseguimento até 1850. Nesse ano, Ludwig Wilhelmy (1812-1864) pesquisaria a hidrólise da cana-de-açúcar na presença de ácidos, usando a mudança da rotação óptica da solução para medir o grau de inversão[314]. A equação formulada por Wilhelmy para a reação monomolecular foi a primeira expressão matemática para um processo químico. Pouco depois, Alexander Williansom explicaria o estado de equilíbrio dinâmico: quando uma reação produz substâncias a uma determinada taxa e quando estas substâncias reagem a uma determinada taxa para regenerar os materiais iniciais, haverá um momento de equilíbrio dinâmico.

Berthelot continuaria o trabalho de Wilhelmy com o estudo sobre a cinética de ácidos e álcoois, porém limitando as pesquisas à formação de éteres, e não as estendendo às suas hidrólises.

Avanço significativo seria alcançado com as investigações dos químicos noruegueses Cato Maximilian Guldberg (1836-1902) e Peter Waage (1833-1900), que, num curto trabalho (1863), estabeleceram, em base matemática e quantitativa, a "lei da ação das massas", uma das bases da Química moderna. A lei da ação das massas detalha os efeitos da concentração, massa e temperatura nos índices das reações químicas: a ação química de uma substância, que provoca transformações nos equilíbrios, é proporcional à sua massa ativa, ou, em outras palavras, a taxa de mudança química depende das concentrações de seus reagentes. A lei trata, assim, da influência da concentração de substâncias sobre a evolução de uma reação até seu equilíbrio, que é atingido pelas concentrações dadas, as quais permitem

[314] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

definir um equilíbrio constante, característico da reação[315]. O trabalho ficaria ignorado, mesmo após 1867, quando foi traduzido para o francês. No entanto, casos especiais, relacionados com a lei, eram descritos por Van't Hoff e outros, até que, em 1879, Guldberg e Waage publicariam um extenso documento, de sua teoria, num jornal alemão, quando então receberiam crédito pelos seus trabalhos. O trabalho de Van't Hoff (1877) classificaria as reações segundo o número de moléculas envolvidas no processo, definiria várias reações e contribuiria, assim, para melhor compreensão dos mecanismos de reações.

Finalmente, Svante Arrhenius, em 1889, concluiria que nem toda colisão de moléculas, mesmo numa reação bimolecular, levaria a uma reação. Em consequência, propôs os conceitos de "moléculas ativas" e de "energia de ativação"[316]. Quando essa energia de ativação é baixa, as reações são rápidas e suaves. No caso de alta energia de ativação, se a temperatura for elevada para que um número de moléculas receba a necessária energia de ativação, a reação será rápida e repentina, às vezes com violenta explosão. É o caso, por exemplo, da explosão da mistura hidrogênio-oxigênio, quando a temperatura de ignição é alcançada. Ostwald usaria esse conceito em sua teoria da catálise.

Nessas bases, a Cinética tornou-se um ramo da Físico-Química e contribuiria para o entendimento das reações químicas.

6.21.5.1.4 Fotoquímica

A luz é uma forma de energia que pode ser produzida numa reação química, a qual, por sua vez, pode provocar, também, uma reação química. A luz pode dividir certos compostos de prata, liberando certos grãos pretos da prata metálica. O estudo dessas reações induzidas pela luz constitui a chamada Fotoquímica.

A partir dos anos 1830, o interesse despertado pela ação da luz na prata desenvolveria uma técnica para permitir que, pela rápida exposição à luz, um composto de prata, tratado com substâncias químicas, se dividisse em prata metálica; quanto mais brilhante a luz, maior seria essa tendência.

A técnica no processo da fotografia (leitura pela luz) seria aperfeiçoada, a partir dos trabalhos do físico Joseph Nicephore Niepce (1765-1833), pelo artista Louis Jacques Daguerre (1789-1851), e pelo inventor William Henry Talbot (1800-1877). O emprego da fotografia seria de grande importância nas observações astronômicas e em outros domínios científicos.

[315] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

[316] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

Deve ser também consignado ser a luz um catalisador, podendo uma pequena quantidade de raio solar provocar, numa mistura de hidrogênio e cloro, uma violenta explosão, o que não ocorre no escuro.

6.21.5.2 Bioquímica

Ramo da Química que investiga a estrutura, a função e a transformação das moléculas dentro das células, as pesquisas iniciais na Bioquímica para entender os aspectos metabólicos e estruturais do processo da vida começariam, na realidade, apenas no início do século XIX. Dadas a complexidade e sofisticação do tema (reações químicas envolvidas nos processos vitais) para os parcos conhecimentos químicos da época, seu desenvolvimento dependeria, diretamente, do avanço em outras áreas, como a Análise e a Química orgânica, e em outros domínios, como Fisiologia.

Em consequência, apesar de terem sido lançadas, com os estudos pioneiros, as bases da Bioquímica, – então chamada de Química fisiológica, porque era usada para se compreender problemas específicos fisiológicos –, seu pleno desenvolvimento ocorreria no século XX, dependente das necessárias condições científicas e tecnológicas, na Química e na Biologia. Leicester explica: somente no final do século XIX e no século XX que as peças do quebra-cabeça começaram a se encaixar, formando um quadro unificado das mudanças químicas nas células, o que permitiria entender seu significado para o corpo como um todo. A linha limítrofe entre Química e Fisiologia tornar-se-ia uma disciplina, à qual o nome de Bioquímica, a Química da Vida, está bem aplicado[317].

No último quarto do século XVIII, o farmacêutico e químico sueco Karl Wilhelm Scheele (1742-1786), que descobrira o oxigênio, em 1772 (dois anos antes de Priestley), o cloro e o manganês, o ácido de bário e o glicerol, isolou diversos compostos naturais, como os ácidos cítrico, lático, málico, oxálico, tartárico e úrico, os quais, posteriormente, submetidos à análise por Berzelius e Wohler, provariam conter carbono. Foram, também, realizadas as primeiras importantes pesquisas sobre fotossíntese, em 1779, pelo médico holandês Jan Ingenhousz (1730-1799), nas quais demonstrou que as plantas absorviam dióxido de carbono e expeliam "ar puro" (oxigênio), somente quando expostas à luz, e que o processo reverso ocorria no escuro, e pelo naturalista suíço Jean Senebier (1742-1809) em sua Fisiologia vegetal (1789). Pioneiros foram, igualmente,

[317] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

os trabalhos de Lavoisier, Laplace e Armand Séguin (1765-1835) sobre respiração animal. Essas isoladas e iniciais investigações se revestem mais de sentido pioneiro que de real impacto no desenvolvimento da pesquisa bioquímica.

O advento da Química Orgânica, em 1828, com a sintetização da ureia, por Wohler; os trabalhos, por essa época, de Michel Chevreul sobre as gorduras, demonstrando serem constituídas de ácidos graxos e glicerol; e o isolamento da clorofila (do grego) por Joseph Pelletier (1788-1842) e Joseph Caventou (1795-1877), em 1817, seriam decisivos para a compreensão, a seguir, da química da vida animal e vegetal, baseada em moléculas com átomos de carbono.

As pesquisas de Chevreul e Magendie conduziriam a estudos sobre carboidratos e proteínas, em particular, isto é, na chamada Bioquímica estrutural. O nome proteína foi sugerido por Gerardus Johannes Mulder (1802-1880), cujos pontos de vista sobre a natureza química da proteína provocariam violenta controvérsia com Liebig, que escreveria, em 1840, a *Química Orgânica aplicada à Fisiologia vegetal e à agricultura,* e, em 1842, sua famosa *A Química Orgânica aplicada à fisiologia animal e à patologia*, na qual aplicou sua teoria química à Fisiologia animal e humana. Em 1851, nas *Novas Cartas sobre a Química*, Liebig assinalaria a dependência estreita da Fisiologia em relação à Química quanto à respiração, ao calor animal e à nutrição. Poucas investigações relevantes ocorreriam na Bioquímica estrutural até as realizadas por Emil Fischer, entre 1882 e 1896, que revolucionariam o conhecimento das estruturas dos açúcares, dos aminoácidos (inclusive proteínas) e das gorduras. Pela síntese dos açúcares (glicose, frutose, manose) e da purina (composto de base nitrogenada) receberia Fischer o Prêmio Nobel de Química em 1902.

Um dos aspectos que despertou interesse, desde o início do século, foi a evidência da relação entre a alimentação e a saúde. Pesquisas sobre nutrição e seus efeitos sobre a saúde datam dessa época, com o médico e fisiologista François Magendie (1783-1855), que, em 1816, experimentaria, com animais (cachorros), a dieta de água destilada e um alimento (açúcar, manteiga, azeite de oliva); os animais morriam ao final de um mês de dieta, o que o levou à conclusão de que os alimentos à base nitrogenada eram essenciais à vida.

Após os trabalhos de Magendie e Liebig, John B. Lawes (1843-1910) e Joseph H. Gilbert (1817-1901) adicionariam compostos nitrogenados a fertilizantes agrícolas, no que mostrariam sua importância para a nutrição e propiciariam o extraordinário desenvolvimento da agricultura inglesa.

No final do século, avanço significativo no estudo da nutrição como fonte energética seria devido à influência do conceito de

energia nas pesquisas da Física e da Química. O fisiologista Carl Voit (1831-1908) e seu aluno Max Rubner (1854-1932) foram muito ativos nesse campo. Para Voit, os animais adultos saudáveis estariam em equilíbrio de nitrogênio, eliminando tanto nitrogênio quanto a quantidade absorvida. Suas pesquisas indicavam, por outro lado, que o metabolismo proteico não aumentava com a atividade muscular. Em 1865, mostraria que uma combinação com oxigênio não era o início de produção de energia, mas que uma grande quantidade de substâncias intermediárias se formava do alimento original, antes da combinação com oxigênio. Assim o oxigênio não causa metabolismo, mas sim tais substâncias. Nos anos de 1866/73, Voit, com a colaboração de Max Pettenkoffer (1818-1901), publicaria uma série de trabalhos em que mostraria que o metabolismo animal variava de acordo com as condições. A pesquisa continuaria com Rubner, que, em 1883/84, anunciaria sua lei isodinâmica, pela qual os três tipos de alimento (carboidratos, gorduras e proteínas) eram equivalentes em termos de valor calórico. Essa lei seria modificada pelo próprio Rubner, ao descobrir a ação dinâmica do alimento pelo trabalho quantitativo a que procedeu. Rubner demonstraria que a energia dos organismos vivos seguia as mesmas leis das substâncias químicas, isto é, de que pequenas quantidades de substâncias minerais, como verificara Liebig, eram essenciais à vida.

Experiências, a partir dos anos 1880, mostrariam ser inadequada uma dieta limitada a carboidratos, gorduras e proteínas, inclusive como responsáveis por “doenças deficitárias”, como a beribéri e o escorbuto.

Quanto à digestão, em 1835, Theodor Schwann (1810-1882) descobriu que o suco gástrico tinha um catalisador, que chamou de “pepsina”, o qual era muito eficiente em desagregar alimentos; a função digestiva da língua, mais especificamente da saliva, foi descoberta, em 1845, por Louis Mialhe (1807-1886), ao obter a “pralina”. Em 1852, Friedrich Bidder (1810-1894) e Carl Schmidt (1822-1894) demonstrariam que o suco gástrico era um ácido hidroclórico. Outro agente digestivo, o suco pancreático, seria descoberto por Claude Bernard (1813-1878), que demonstraria a capacidade desagregadora desse suco com gorduras e proteínas no intestino delgado, o que o tornava órgão fundamental no processo digestivo.

Além de sua descoberta do suco pancreático, e de seus estudos sobre as funções do pâncreas, em 1857, Bernard descobriu uma substância semelhante ao amido, encontrada no fígado dos mamíferos, a que deu o nome de “glicogênio”, cujo processo da glicogênese era função do fígado. Bernard provaria que o glicogênio era sintetizado a partir do açúcar

encontrado no sangue, constituindo-se numa reserva de carboidratos que podia ser transformada outra vez em açúcar. Incidentalmente, o conhecimento da estrutura do açúcar para o entendimento do metabolismo do carboidrato e o das estruturas da purina (1882-1901) e do polipeptídeo (1901-1906) para a compreensão do metabolismo do nitrogênio são devidos aos trabalhos de Emil Fischer.

Prosseguindo nas pesquisas de Bernard sobre o suco pancreático, Willy Kühne (1837-1900) estudaria a ação desse suco nas proteínas, e isolaria, em 1875, a "tripsina".

Outra área de interesse e pesquisa, além da nutrição e digestão, seria a da fermentação, tendo Louis Pasteur (1822-1895) realizado análise sobre fermentação lática (1857), do álcool (1858/60), butírica (1851), e acética (1861/64). A natureza do fermento, ou da enzima, era objeto de muita discussão e acirrada controvérsia entre duas correntes de pensamento. Uma, à qual pertencia Liebig, sustentava que a fermentação era um processo exclusivamente químico, enquanto outros, da corrente vitalista, defendiam que a fermentação resultava da ação de organismos vivos.

Em 1856, um industrial de Lille pediu a Pasteur que buscasse uma solução para a fermentação que ocorria no processo de fabricação de alguns produtos, como álcool, açúcar e cerveja. Em suas investigações (1856), Pasteur descobriria dois tipos de levedo: um produzia álcool e outro ácido lático, sendo que o oxigênio não seria indispensável para que ocorresse a fermentação, mas que, entretanto, o processo envolvia, necessariamente, micro-organismos vivos; logo, a teoria de Liebig estava equivocada, já que a célula viva do levedo era essencial à fermentação. No prosseguimento de suas pesquisas, descobriria que um pequeno aquecimento (pasteurização) mataria os micro-organismos e evitaria, assim, a fermentação, o que seria a definitiva refutação da teoria da geração espontânea, o que já fora demonstrado, no século XVIII, por Lazzaro Spallanzani (1729-1799).

Em 1876, o fisiologista Willy Kuhne, que trabalhara com Virchow e pesquisara a digestão, daria ao fermento organizado (caso do açúcar), que ocorre na célula, o nome de "enzima" (do grego *zymosis,* para fermento). Em 1876, Eduard Büchner (1860-1917) obteria um extrato de levedo com poder de fermentação, o que evidenciava que todas as reações do organismo vivo, tanto de fermentos organizados quanto de não organizados (diversos fermentos digestivos) eram efetuadas com a ajuda de um catalisador, que passou a ser chamado de enzima.

Assim, numa definição moderna, enzimas são as substâncias proteicas capazes de catalisar reações químicas relacionadas com a vida, sem sofrerem alterações em sua composição química.

O estudo das funções endócrinas começou em 1849, com Arnold A. Berthold (1803-1861), com suas experiências de transplante de tecidos de testículos de ave, que mostrariam ser possível prevenir os efeitos da castração. Pesquisas nesse sentido foram efetuadas, também, por Edouard Brown-Sequard (1817-1894), em 1889, e, nessa mesma época, Joseph von Mering (1849-1908) e Oscar Minkowski (1858-1931) demonstrariam que a remoção de pâncreas no cachorro causara um rápido aumento de açúcar no sangue. Em 1895, George Oliver (1841-1915) e Edward Albert Sharpey Schäfer (1850-1935) retiraram um extrato da glândula suprarrenal que tinha a capacidade de aumentar a pressão arterial, assinalando que as cápsulas suprarrenais deveriam ser consideradas estritamente como glândulas de secreção.

A propósito, o princípio ativo das glândulas suprarrenais, a adrenalina, foi isolado em 1901, por Jokichi Takamine (1854-1922), e independentemente, por Thomas Bell Aldrich (1861-1938), sendo o primeiro hormônio a ser isolado. No final do século, já se aceitava que certos órgãos produzem substâncias que exercem efeitos em outras partes do corpo, o que seria confirmado pelas descobertas farmacológicas de Paul Ehrlich (1854-1915) sobre a ação de diversas drogas em organismos vivos.

As funções de outras glândulas de secreção seriam, igualmente, estudadas, como a tireoide, por Moritz Schiff (1823-1896), em 1859, e a paratireoide, por Eugène Gley (1857-1930), em 1891.

Quanto à respiração, George Harley (1829-1896), que sustentava haver uma ligação química responsável pela fixação do oxigênio no sangue, teria a confirmação de suas pesquisas com a descoberta da hemoglobina, em 1864, por Felix Hoppe-Seyler (1825-1895), autor de *Fisiologia Química* (1877/81). Paul Bert (1833-1886), sucessor de Claude Bernard na Sorbonne, confirmaria, em 1869, o trabalho de Spallanzani de que a "sede" da combustão ou do "calor humano" estaria nos tecidos, e não nos pulmões, como acreditava Lavoisier[318]. Berthelot escreveria, em 1865, a *Memória sobre o calor animal*, e, em 1869, um *Ensaio sobre mecânica química*. O conceito de "quociente respiratório" (relação entre o volume de gás carbônico expirado e o volume de oxigênio absorvido num determinado tempo) seria introduzido por Eduard Pflüger (1829-1910), em 1877.

De especial valor e de grande significado para o desenvolvimento da Bioquímica, da Teoria Celular e da Genética, no século XX, seria a descoberta, em 1869, do "ácido nucleico" pelo bioquímico suíço Johann Friedrich Miescher (1844-1895). Professor de Anatomia, e depois de Fisiologia, na Universidade da Basileia, pesquisou Química Orgânica

[318] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

no laboratório de Hoppe-Seyler, em Tübingen, e Fisiologia, em Leipzig, no laboratório de Karl Ludwig (1816-1895). Quando em Tübingen, ao trabalhar com células de pus, secreção rica em leucócitos, e ao tentar desagregar a suposta proteína dessas células com pepsina, Miescher descobriu a presença de algo que não poderia ser uma das conhecidas substâncias da proteína. Verificou tratar-se de nova substância (contendo fósforo, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e carbono), cujas propriedades não se pareciam com as da proteína. Derivada apenas da célula, Miescher daria a essa substância o nome de "nuclein". A descoberta só seria publicada em 1871. Miescher comprovaria, em outras pesquisas, que seria possível obter nuclein de muitas outras células. Por se tratar de um ácido forte, a substância seria designada de ácido nucleico, em 1889, por Richard Altmann (1852-1900).

Albrecht Kossel (1853-1927) seria o primeiro, em 1893, a pesquisar a estrutura da molécula do ácido, identificando suas quatro bases nitrogenadas: adenina, guanina, citosina e timina. Por sua contribuição para o conhecimento da química da célula por meio das substâncias proteicas, Kossel seria agraciado, em 1910, com o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina. No início do século XX, o ácido seria identificado como DNA (ácido desoxirribonucleico) e sua estrutura viria a ser conhecida apenas em 1953, pelo trabalho de James Watson e Francis Crick.

6.22 Biologia

A palavra Biologia (do grego para estudo da vida) foi criada por Gottfried Reinhold Treviranus (1779-1837), que a usou como título de sua obra de 1802 (*Biologie oder die Philosophie der Lebenden Natur*) e, de forma independente, por Jean Baptiste Lamarck (1744-1829), que a utilizou em sua obra *Hidrogeologia*, também de 1802.

A exemplo das outras Ciências fundamentais (Matemática, Astronomia, Física e Química), o aspecto dominante na evolução da Biologia, no século XIX, seria sua revolucionária transformação teórica e metodológica, refletida no predomínio de considerações científicas no exame dos fenômenos biológicos sobre as de ordem especulativa apoiadas em noções arbitrárias, estranhas à Ciência. Essa radical transformação está balizada entre a criação da Histologia, por Bichat, em 1802, e a redescoberta da Genética, de Mendel, em 1900, e bem caracterizada pela *Teoria da Origem das Espécies* de Darwin. Como Lavoisier, no campo da Química, tinha Darwin plena noção e consciência do caráter revolucionário de

sua obra, conforme deixou claro no capítulo final da *Origem das Espécies*, ao prever que as ideias contidas em seu livro representariam uma considerável revolução no âmbito da História Natural. Pode-se, mesmo, considerar tal declaração como modesta, uma vez que o naturalista inglês sabia perfeitamente das profundas implicações de sua obra, tanto que postergou, ao máximo, sua publicação.

Como esclareceu Mayr, em *Isto é Biologia*, a tradição médica, desde Hipócrates e sucessores, levaria ao desenvolvimento da Anatomia e da Fisiologia, enquanto a tradição da História Natural, iniciada por Aristóteles, na *História dos Animais*, e em trabalhos biológicos, daria origem à Sistemática, à Biologia comparativa e à Biologia evolutiva; a Botânica, ramo da História Natural, serviria de elo entre essas duas tradições, na medida em que a quase totalidade de botânicos, do século XVI ao XVIII, era constituída de médicos dedicados ao estudo das plantas com vistas a conhecer suas propriedades medicinais. A grande diversidade da fauna e da flora favoreceria o desenvolvimento da Taxonomia e da Sistemática. Os estudos eram basicamente descritivos, vindo a mudança a ocorrer somente no início do século XIX, com os trabalhos, em Fisiologia, por Bichat e Magendie.

A História Natural deixaria de ser um conjunto descritivo de informações e dados esparsos coligidos por naturalistas, para ter uma dimensão maior e mais complexa, ao sistematizar o estudo dos fenômenos biológicos, isto é, o estudo dos organismos vivos. Essa mudança de objetivos e métodos daria nascimento à Biologia, a qual continuaria, contudo, a se utilizar da descrição, mas não mais como seu principal propósito. A Biologia, comprometida com o estudo do fenômeno da vida, se tornaria comparativa e experimental; de especulativa e preconceituosa, evoluiria para uma etapa positiva, pela gradual imposição do espírito científico na orientação das investigações. Com Claude Bernard, o método experimental se imporia na Fisiologia. A flora e a fauna continuariam, como no passado, objetos de interesse e pesquisa, formando, inclusive, parte da Ecologia, ramo da Biologia constituído no século XX, dedicado ao estudo das populações, comunidades, ecossistemas e biosfera. O estudo da vida, em toda sua complexidade, seria o foco temático da Biologia, no qual as pesquisas da célula, do embrião, dos fenômenos vitais e da evolução constituiriam a parte mais dinâmica e importante da Ciência.

Nesse processo de estruturação de uma Ciência autônoma e independente, são marcos fundamentais a criação da Histologia (Bichat, 1801/02), da Citologia (Schleiden/Schwann, 1838/39), da Embriologia (Baer, 1828), da Fisiologia (Bernard/Karl Gustav, 1850/70), da Evolução

(Darwin, 1859), da Microbiologia (Pasteur/Koch, 1860/70) e da Genética (Mendel, 1866/1900). A partir de suas respectivas criações, os diversos ramos da Biologia teriam um extraordinário desenvolvimento, ampliando de modo significativo o campo científico, até então dominado pelas chamadas Ciências Exatas (Matemática, Astronomia e Física), estruturadas nos séculos XVI e XVII. Essa expansão do domínio do conhecimento humano sob a égide do pensamento científico é da maior importância na História da Ciência, por caracterizar a gradual rejeição de considerações de ordem metafísica e teleológica no domínio dos fenômenos da vida, e por demonstrar a diversidade conceitual e metodológica no campo científico. Magendie, Schwann, Müller, Claude Bernard, Virchow, Mendel, Darwin, Karl Ludwig e Weissmann são exemplos eloquentes da afirmação do espírito científico no campo da Biologia, e, como tal, responsáveis diretos e principais da "fundação" da atual ciência biológica.

A aceitação crescente, diante do acúmulo de comprovações, de que as reações nos organismos vivos (Fisiologia, Embriologia) seguiam as leis básicas da Física e da Química mostraria a ampla fronteira comum da Biologia com estas duas outras Ciências, evidenciando a inevitabilidade da aplicação de conceitos e métodos dessas Ciências Exatas em seus estudos; ao mesmo tempo, a impossibilidade de utilização de certos métodos, como o experimental, em certos ramos, como o da Biologia evolutiva, aproxima a Biologia de outras Ciências, como as Sociais, o que a torna, de certa maneira, uma Ciência *suis generis*. É interessante notar que a Sociologia também seria fundada e se estruturaria no século XIX, ampliando, ainda mais, o âmbito da pesquisa científica, a qual passaria a abarcar os fenômenos naturais, humanos e sociais.

Assim, é possível resumir as principais características do processo evolutivo da Biologia no século XIX nos seguintes pontos: i) um extraordinário desenvolvimento teórico, com a elaboração de leis, bem como de conceitos biológicos; ii) uma grande ampliação de seu âmbito de trabalho, com a criação de novos ramos de estudo, como a Histologia, a Citologia (teoria celular) e a Evolução; iii) a formulação da teoria da origem das espécies e o processo de seleção natural, de imenso impacto no campo da Biologia e da Ciência em geral, do que resultaria a criação do ramo da Biologia evolutiva, de características próprias com recurso à metodologia específica; iv) o emprego do método experimental e quantitativo e da análise comparativa, em apoio à observação sistemática, para o conhecimento de fenômenos particulares, a fim de se chegar às generalizações, no campo da Biologia funcional; v) a rejeição de ultrapassadas teorias, como as da pré-formação, imutabilidade das espécies, geração espontânea e vitalismo;

vi) o reconhecimento dos estreitos vínculos com a Física e a Química, em diversos ramos, e com as Ciências Sociais, em outros; e viii) a introdução de novas técnicas, como o uso de corantes, e de aperfeiçoados aparelhos e novos equipamentos de pesquisa, como o microscópio, o micrótomo e os raios-X.

A formação da ciência biológica suscitou sérias divergências de pontos de vista na comunidade científica, em particular ao rejeitar concepções sem fundamentação e sem comprovação apropriadas. O abandono de noções até então vigentes, como a da força vital, da geração espontânea, do pré-formismo e da teleologia, ocorreria com resistências, mas, à medida que evoluíam as pesquisas, diminuía o número de seus defensores entre os biólogos, até que prevaleceriam os novos conceitos fundamentados exclusivamente na investigação dos fenômenos, sem apelação a recursos extracientíficos ou invocação a explicações sobrenaturais.

De valor apenas histórico, caberia mencionar o movimento chamado de Filosofia da Natureza, de origem no idealismo alemão, cujos mais famosos promotores foram Schelling, Humboldt, Goethe, Oken e Kielmeyer. Em reação ao empirismo baconiano inglês e ao racionalismo cartesiano francês, o idealismo ou romantismo alemão concebia o Universo, a matéria e o espírito como um todo orgânico, vivo, evolutivo, tendente à perfeição, adotando uma visão unitária e total do Mundo material e espiritual. O movimento priorizava as Ciências do espírito em lugar das Ciências naturais e exatas, o incomensurável ou infinito ao medido ou finito, a síntese à análise, a qualidade à quantidade, a intuição à Razão. A influência desse movimento na comunidade científica europeia, inclusive a alemã, foi reduzida e passageira, pois, apesar de sua metafísica e teleologia, não chegou a impedir o progresso das pesquisas e a adoção de métodos científicos na Biologia.

O tema mais polêmico no século XIX da Ciência em geral, e da Biologia, em particular, foi o da *Origem das Espécies*, de Darwin, publicado em 1859, porquanto envolvia a rejeição do criacionismo e do fixismo das espécies, noções dogmáticas e arbitrárias, de cunho teológico e teleológico. O apaixonado debate convulsionou o ambiente intelectual da época, e até hoje é objeto de discussão, se bem que, desde o final do século XIX, foi crescente o apoio ao evolucionismo até alcançar ampla aceitação na comunidade científica. O problema da imutabilidade das espécies *versus* evolucionismo perdeu muito da conotação emocional dos primeiros tempos do debate, diante das evidências fornecidas pela pesquisa, tanto que o assunto deixou de ser polêmico para ter generalizada aceitação, inclusive nos meios religiosos.

O ponto ainda em discussão, em vista da posição assumida por segmentos da comunidade, impregnada de preconceitos teológicos, se limita, na realidade, à origem ou à criação da espécie. A questão, contudo, extrapola o campo da Ciência, já que se situa no âmbito da metafísica, em que o ato da criação, seja do Cosmos, seja da Vida, serve de fundamento, ainda que indemonstrável, para a origem do Universo e das espécies. Último bastião da resistência metafísica ao triunfo definitivo do pensamento científico, o criacionismo, desacreditado, hoje, nos meios laicos e científicos, escapa, assim, da análise da ciência biológica, dedicada ao estudo dos fenômenos e das leis que os regem. Dado igualmente o papel fundamental do "acaso", do aleatório ou do "acidente" no processo evolutivo, pela seleção natural, é fora de propósito a atual permanência da especulação teleológica, a qual busca uma justificativa finalista ou de causa final para os fenômenos naturais.

O novo ramo da Evolução acrescentaria uma importante característica ao amplo campo da Biologia, que não pode ser minimizada. Diferente dos demais ramos (Embriologia, Genética, Citologia, Fisiologia), aos quais, por sua natureza funcional, se aplica o método experimental e se formula a correspondente lei, a Evolução, pela impossibilidade do recurso à experimentação, recorre necessariamente ao método histórico e se baseia, principalmente, em conceitos.

Embora a Genética remonte aos estudos pioneiros de Gregor Mendel, sua obra ficou praticamente desconhecida até o final do século, o que explica seu tardio desenvolvimento, em relação aos outros ramos da Biologia; as pesquisas nessa área avançariam rapidamente desde o início do século XX, e se tornariam cruciais para o conhecimento dos fenômenos biológicos, em particular no campo da Embriologia, da Biologia molecular e da Biologia evolutiva. Outro ramo que adquiriria muita importância, mas somente a partir dos anos 1970 (do século XX) seria a Ecologia, pelo que será tratado na parte relativa às Ciências no século XX.

O principal centro de pesquisa na Biologia, como também nas outras Ciências, foi a Europa, donde se originaram os preceitos, os princípios, as leis, os conceitos e as teorias que norteariam as investigações. A difusão de cursos universitários, a melhoria das condições laboratoriais, a divulgação das pesquisas, o aperfeiçoamento de materiais e equipamentos, o apoio público às iniciativas de pesquisa, a fundação de sociedades, museus e revistas especializadas e a crescente cooperação internacional, inclusive com a realização de frequentes congressos, explicam o extraordinário progresso no estudo dos fenômenos biológicos na Europa. Durante todo esse período, a Alemanha e a França estiveram na liderança dos estudos,

sendo os responsáveis pela maioria dos principais avanços teóricos e experimentais. Pesquisadores de outros países, como a Suíça, Itália, Países Baixos, Grã-Bretanha e Rússia, prestariam, igualmente, relevantes contribuições ao desenvolvimento do conhecimento biológico.

Esse extraordinário desenvolvimento da Biologia no século XIX ocorreu nas duas grandes divisões originais da História Natural, a Zoologia (do grego *zoon*, para animal, e *logos*, para estudo) e a Botânica (do grego *botane*, para planta) em seus diversos ramos ou disciplinas comuns, como a Fisiologia, a Citologia a Anatomia ou a Paleontologia. Ainda que inevitável a especialização do pesquisador, segundo a área de investigação, o fenômeno biológico (respiração, geração ou circulação) deve ser o referencial da unidade da Biologia.

O exame da evolução do conhecimento biológico nessa imensa área de competência requer, assim, a adoção de certos critérios de prioridade, pela importância e repercussão da matéria, posto que a pretensão de cobrir todo o campo da Biologia, além de estender desnecessariamente esta análise do processo, prejudicaria a compreensão dos grandes temas desta Ciência no século XIX.

Em consequência, o desenvolvimento da Biologia será estudado sob as seguintes oito grandes rubricas: Anatomia animal (Humana e Comparada), Fisiologia (Humana e Vegetal), Histologia e Citologia, Embriologia, Microbiologia, Paleontologia, Evolução e Genética.

6.22.1 Anatomia Animal

Sob esse título geral, serão examinadas, em separado, a evolução das pesquisas na Anatomia humana, e a criação, por Cuvier, da Anatomia comparada, no início do século, bem como seu desenvolvimento no período.

6.22.1.1 Anatomia Humana

No início do século XIX, com exceção do sistema nervoso e do cérebro, já era razoavelmente amplo o conhecimento dos diversos sistemas (esquelético, circulatório sanguíneo e linfático, digestivo, respiratório, muscular) do corpo humano. Aperfeiçoamento de técnicas e de aparelhos e equipamentos, e emprego de metodologia experimental dariam novo e importante impulso ao desenvolvimento das investigações na Anatomia humana. Nesse sentido, cabe

ressaltar a descoberta da anestesia, aliada a novas técnicas operatórias, para o grande avanço na cirurgia e o enorme impacto da descoberta dos raios-X, no final do século, para o desenvolvimento do conhecimento anatômico[319].

Por outro lado, pesquisas, por exemplo, na Fisiologia, Embriologia e Citologia, por parte de Magendie, Bichat, Gall, Karl Ludwig, Virchow, Baer, Claude Bernard, Remak, Broca, Ramón y Cajal, entre tantos outros, foram, igualmente, de grande relevância para a ampliação do conhecimento da Anatomia humana[320].

O anatomista Jean Cruveiller (1791-1874), além de professor e reorganizador da Sociedade Anatômica de Paris, contribuiria para o conhecimento da evolução da Anatomia desde a Antiguidade, com seu conhecido *Discours sur l'histoire de l'Anatomie*.

Dois nomes de pesquisadores da anatomia cerebral cabem ser mencionados. Friedrich Tiedemann (1781-1861), professor em Heidelberg, autor de *Anatomia do Cérebro*, em 1816, no qual defendeu a tese de que a Anatomia só seria uma verdadeira Ciência quando conhecesse a história e as leis da formação do corpo animal; sustentou que cada órgão deveria se desenvolver com aquisições sucessivas. Assim, estudou a formação do cérebro humano, observando as diferentes fases de seu desenvolvimento no Homem e comparando-as com as dos animais adultos. O outro pesquisador é o médico francês Étienne R. Serres (1786-1868), também interessado na Anatomia comparada do cérebro, que aprofundou o estudo paralelo do desenvolvimento cerebral humano e de outras espécies animais; sobre o particular, escreveu, em 1824, *Anatomia comparada do cérebro, nas quatro classes dos animais vertebrados, aplicada à fisiologia e à patologia do sistema nervoso*[321].

Por suas valiosas contribuições, os seguintes anatomistas devem ser mencionados: na França, Marie-Philibert Sappey (1810-1896), que pesquisaria os vasos linfáticos; René Sébileau (1860-1953), autor de *Anatomia da Cabeça e do Pescoço*[322]; Guillaume Dupuytren (1777-1835); Jules Cloquet (1790-1883), autor de *Anatomia do Homem*; Jean Baptiste Bourgery (1797-1849), autor de *Tratado Completo da Anatomia do Homem* (1830/54); Joseph François Malgaigne (1806-1865), autor de *Tratado de Anatomia Cirúrgica e de Cirurgia Experimental*; e Paul Poirier (1853-1907), que escreveu um tratado de Anatomia; na Alemanha, Friedrich Henle (1809-1885) em Anatomia descritiva, autor de *Anatomia geral* e *Manual de Patologia;* Theodor Schwann (1810-1882) e Rudolf Virchow (1821-1902), em Anatomia

319 TATON, René. *La Science Contemporaine.*
320 SAKKA, Michel. *Histoire de l'Anatomie Humaine.*
321 SAKKA, Michel. *Histoire de l'Anatomie Humaine.*
322 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

geral; e Walther Fleming (1843-1915); na Grã-Bretanha, William Hunter (1818- 1883), que estudou o útero grávido, e o cirurgião Charles Bell (1774-1842), autor de *Nova Ideia da Anatomia do Cérebro* e de *Sistema Nervoso do Corpo Humano*; na Itália, Luigi Rolando (1773-1831); Alfonso Corti (1822-1888), pesquisador do sistema auditivo; Giacomini (1840-1880); Camillo Golgi (1843-1926), Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina (PNFM) de 1906, por seu trabalho sobre cérebro e sistema nervoso; e na Suécia, Magnus Gustaf Retzius (1842-1919), autor de *O Cérebro Humano* (1896).

6.22.1.2 Anatomia Comparada

Um dos mais importantes zoólogos do século XIX foi Georges Cuvier (1769-1832), de aristocrática família protestante, o que não o impediu de receber honrarias e de ocupar cargos nos diversos regimes que se instalaram na França. Famoso e prestigiado em toda a Europa, suas opiniões eram respeitadas nos círculos intelectuais e oficiais, vindo a ser o mais influente anatomista e zoólogo do início do século. Escreveu extensamente, ressaltando a *História Natural dos Animais* (1797), *Lições de Anatomia Comparada* (1800/05), *Relatório Histórico sobre os Progressos das Ciências Naturais desde 1789 e sobre sua Situação Atual* (1810), *Exposição sobre as Revoluções do Globo* (1812 e editado em forma de livro em 1825), *Ossaturas Fósseis* (1812/13), *Reino Animal distribuído após sua Organização* (1817). Ocupou-se, principalmente, de Taxonomia (termo por ele criado) dos vertebrados, pesquisou fósseis, sendo considerado o fundador da disciplina da Paleontologia e da Anatomia comparada[323].

Limitou Cuvier a esfera de suas pesquisas aos quatro planos ou grupos que estabelecera em sua classificação dos vertebrados: *vertebrata*, *mollusca*, *articulata* e *radiata*, com o adendo importante de que se tratava de quatro planos independentes, imutáveis, diferentes e desvinculados um dos outros, não podendo ser relacionados com qualquer transformação evolucionista, o que viria a motivar célebre debate com o zoólogo Saint-Hilaire. Qualquer similaridade entre organismos seria devida a funções comuns, não a um ancestral comum; as funções determinariam a forma, não o contrário. Cuvier reintroduziu, assim, a ideia de Aristóteles, da harmonia das funções e coordenação de todas as partes do organismo com vistas às funções a cumprir. Se bem que essa ideia tenha sido pressentida por Buffon e Vicq d'Azyr, no século anterior, é devido a Cuvier a forma e sua

[323] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

aplicação como princípio diretor da Anatomia comparada e da Paleontologia[324].

Esse princípio repousa na ideia simples e evidente de que no ser vivo os órgãos não estão meramente justapostos, mas agem uns sobre os outros e cooperam numa ação coordenada:

> ...todo ser organizado forma um conjunto, um sistema único e fechado, cujas partes se correspondem mutuamente e participam da mesma ação através de uma reação recíproca. Nenhuma parte pode mudar sem que as outras mudem também... todas essas condições devem ser rigorosamente coordenadas entre elas, pois se uma delas vier a faltar, o organismo não poderá funcionar, nem o animal subsistir... (Cuvier, em 1812, em sua *Exposição sobre as revoluções do Globo)*.

O organismo seria, portanto, um todo integrado, em que uma parte não poderia ser alterada sem afetar sua integração funcional.

Assim, o aspecto mais relevante da obra de Cuvier neste capítulo seria o que chamou de "princípio da correlação das partes", segundo o qual a estrutura orgânica de cada órgão é funcionalmente relacionada com todos os outros órgãos do corpo do animal, e que as características funcionais e estruturais do órgão são resultado de sua interação com o meio. De acordo, ainda com Cuvier, as funções e os hábitos do animal determinariam sua forma anatômica, teoria oposta à de Saint-Hilaire[325], que sustentava ser necessário a estrutura anatômica preceder a um modo particular de vida. Em 1828, Cuvier escreveria que se há alguma semelhança entre órgãos de peixes e de outras classes de vertebrados, é somente porque há uma semelhança de funções. As ideias de Cuvier, portanto, se opunham às teorias de Buffon, Lamarck e Saint-Hilaire, nas quais a morfologia animal seria mutável e afetada pelas condições do meio.

Apesar de ter verificado, em suas investigações, serem os fósseis bem mais antigos do que se argumentava na época, e que variavam de acordo com a antiguidade das rochas em que se encontravam, Cuvier sustentaria que as características anatômicas distinguiam grupos de animais, o que evidenciaria não variarem as espécies desde sua criação; cada espécie era tão bem coordenada, funcional e estruturada, que não poderia sobreviver a uma mudança significativa. As espécies, insistiria, foram criadas com um desígnio específico e cada órgão para uma função

[324] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[325] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

determinada, pelo que mudanças na anatomia do organismo tornariam inviável sua sobrevivência. Ao negar a evolução e defender o fixismo das espécies, Cuvier se oporia a Jean Baptiste Lamarck, autor de uma teoria da evolução (1809), e a Saint-Hilaire, que, em 1825, reunira evidências da evolução do crocodilo.

Outro renomado zoólogo em Anatomia comparada, desse período, foi Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844), formado em Direito e Medicina e colaborador de Louis Daubenton (1716-1800) no Museu de História Natural. Convidou Cuvier para trabalhar com ele, e, juntos, publicaram cinco trabalhos, num dos quais propuseram a "subordinação das características", método que distinguiria aquelas características do animal que permitiriam separá-los em "filo". Saint-Hilaire participou como cientista da expedição de Napoleão ao Egito, foi membro da Academia de Ciências (1807), professor de Zoologia na Universidade de Paris (1809), e reuniu seus estudos de Anatomia na publicação *Filosofia Anatômica* (1818/22). Fundador da Teratologia, ou estudo da má formação animal e desenvolvimento anormal, tendo escrito, em 1822, o livro *Monstruosidades humanas*, Saint-Hilaire contribuiu, igualmente, com seus estudos e pesquisas, para o estabelecimento da moderna Embriologia.

A ideia central da sua obra é a unidade da composição orgânica dos vertebrados, baseada em evidências recolhidas em seus trabalhos sobre os embriões, ou seja, no princípio da unidade do plano dos vertebrados. Saint-Hilaire defenderia três princípios: o do desenvolvimento, segundo o qual nenhum órgão aparece ou desaparece sem vestígios; o da compensação, pelo qual um órgão só pode crescer desproporcionalmente a expensas de outro; e o das conexões, de acordo com o qual as partes de todos os animais mantêm as mesmas posições em relação às outras, as conexões dos órgãos entre eles. Sugeriria que mudança morfológica não era lenta, nem gradual, como proposto por Lamarck, mas por transformações abruptas, resultantes de mudanças no desenvolvimento embrionário. Em 1833, escreveria em *Influência do Mundo ambiente para modificar as formas animais* que

> ...o Mundo externo é todo-poderoso na alteração da forma dos corpos organizados... essas modificações são herdadas e influenciam todo o resto da organização do animal, porque se essas modificações podem ocasionar efeitos negativos, os animais afetados morrem e são substituídos por outros de forma um tanto diferente, mas forma alterada para ser adaptada ao novo meio.

Assim, Saint-Hilaire rechaçava o princípio da correlação de Cuvier, por considerá-la fixista, e Cuvier, por seu turno, o acusava de defender

uma teoria bastante próxima da concepção da Filosofia da Natureza. Quando discípulos de Saint-Hilaire estenderam, inadvertidamente, seus princípios aos moluscos, apesar dos seus reiterados pronunciamentos de que se aplicavam aos vertebrados, estabeleceu-se controvérsia entre esses dois campos opostos, que culminaria no célebre debate de oito sessões públicas, na Academia de Ciências, em fevereiro/abril de 1830, entre os dois maiores nomes da Anatomia comparada da França nesse período[326]. A principal consequência do passageiro e eventual triunfo da tese funcionalista de Cuvier seria a interpretação de que se tratava de vitória da tradicional teoria do fixismo, o que explicaria, no entender dos historiadores da Ciência, a falta, nas décadas seguintes, de concepções teóricas no campo da Zoologia na França.

Outro importante pesquisador na Anatomia comparada e na Paleontologia seria o inglês Richard Owen (1804-1892), considerado o mais influente zoólogo no quarto de século entre a morte de Cuvier e a publicação da *Origem das Espécies*. Além da Anatomia comparada, foi muito atuante em Paleontologia e Taxonomia. Formado em Medicina, no início de sua carreira, foi fortemente influenciado pelas ideias de John Barclay e John Abernathy, ambos antimaterialistas, adeptos do "princípio vital" e de que a essência da mente era a "alma". Após encontro com Cuvier, em 1830, e ter assistido ao debate Cuvier – Saint-Hilaire, interessou-se por Anatomia comparada. Convidado, aceitou a tarefa de colaborar na organização da coleção de vertebrados trazida por Darwin de sua viagem, ajudando, inclusive, na descrição dos fósseis. Em 1856, foi nomeado superintendente do Museu de História Natural, e foi bastante crítico da teoria evolucionista. Owen cunhou o termo "dinossauro" para determinada espécie de animais pré-históricos, em artigo de 1842, publicado pela Associação Britânica pelo Avanço da Ciência. Owen foi o grande organizador da importante série de catálogos da "coleção hunteriana", do Colégio Real de Cirurgiões, o que lhe permitiria adquirir grande conhecimento de Anatomia comparada.

Adepto da concepção do "arquétipo", e influenciado por seus primeiros mestres, escreveu, em 1848, *Sobre o Arquétipo e Homologias do Esqueleto dos Vertebrados*. Acreditava que o corpo dos vertebrados fosse formado de segmentos comparáveis ou vértebras; a cabeça, por exemplo, seria composta de quatro vértebras: a do nariz, a da fronte, a parietal e a occipital; associava o maxilar superior à vértebra do nariz, a mandíbula à fronte, os membros anteriores à occipital, e a bacia e os membros posteriores à parietal.

A noção de homologia das partes já fora pressentida por Aristóteles, ao considerar que, além da unidade do plano dentro do

[326] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

grupo, deveria haver algo entre os elementos de um mesmo grupo. Assim, os órgãos de um cavalo podem ser comparados àqueles de outros quadrúpedes, e, numa mesma classe de animais, os órgãos diferem por excesso ou falta. O trabalho sobre homologia foi, contudo, uma grande contribuição positiva de Richard Owen ao desenvolvimento da Anatomia comparada, ao estabelecer nítida distinção entre órgãos análogos e órgãos homólogos. De acordo com sua definição, órgãos análogos são aqueles com a mesma função, enquanto os homólogos são os mesmos órgãos em diferentes animais sob variadas formas e funções[327]. Owen ainda distinguiu homologia especial, geral e em série. Devido à homologia, deveria haver, segundo Owen, um plano estrutural comum para todos os vertebrados e para cada uma de suas classes. Esse plano seria o arquétipo, que não seria o ancestral dos vertebrados, mas "uma ideia na mente divina, que previu todas as suas modificações".

De suas pesquisas sobre invertebrados, mamíferos, répteis, aves e peixes, podem ser mencionadas como principais obras a *Memoir on the Pearly Nautilus* (1832), *Odontografia* (1840/45), em que descreve dentes, inclusive, de espécies extintas, *História dos Mamíferos Fósseis e Aves Britânicos* (1846), *História dos Répteis Fósseis Britânicos* (1849/84), *Anatomia Comparada e Fisiologia dos Vertebrados* (1866-68), *Pesquisas sobre Fósseis de Mamíferos Extintos da Austrália* (1877-78) e *Memória sobre Aves sem Asas Extintas da Nova Zelândia* (1879), além de um grande número de monografias e artigos sobre suas investigações em Anatomia comparada e Paleontologia.

Karl Gegenbaur (1826-1903), formado em Medicina pela Universidade de Würzburg, em 1845, sua cidade natal, é autor de *Elemento de Anatomia Comparativa*, de 1859, acerca da morfologia evolucionista, na qual enfatizou a importância da similitude estrutural em diferentes animais em suas evoluções históricas. Gegenbaur afirmaria, inclusive, que a parte mais importante da Anatomia comparada era encontrar indicações de conexões genéticas na organização do corpo animal. Ressaltou a importância da homologia no estudo comparativo das partes que têm uma origem evolutiva comum, como o braço humano, as pernas dianteiras do cavalo e as asas dos pássaros. Gegenbaur foi adepto, de primeira hora, da teoria darwinista, e seu grande divulgador e defensor na Alemanha. Escreveu, ainda, um *Manual de Anatomia Humana* (1883) e *Anatomia Comparada de Vertebrados e Invertebrados* (1898/1901).

[327] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

6.22.2 Fisiologia

O estudo das funções dos órgãos dos animais e das plantas constitui a área de atividades e competência da Fisiologia, a qual se utiliza, essencialmente, da experimentação *in vivo* como método de pesquisa. Seu espetacular desenvolvimento, ao longo do século XIX, correspondeu a, igualmente, extraordinários progressos em outras áreas da Biologia (Embriologia, Microbiologia, Citologia, Evolução), a pesquisas na Física e na Química, inclusive na Bioquímica, à introdução do método experimental e de novos e aperfeiçoados aparelhos e instrumentos de pesquisa.

Contribuições pioneiras e significativas, no século XVIII, ainda que restritas a poucos sistemas dos organismos animal e vegetal, sinalizavam avanços incipientes no conhecimento das funções dos órgãos, apesar da vigência de noções como as do vitalismo, flogisto e geração espontânea. No desenvolvimento da Fisiologia nesse século, devem ser mencionados estudiosos como René Antoine Réaumur, Giovanni Morgagni, Albrecht von Haller, Vicq d'Azyr, Antoine Lavoisier, Pierre Laplace e Joseph Gall, no campo da Zoologia, e de Stephen Hales, Jan Ingenhousz, Joseph Kohreuter, Joseph Priestley e Jean Senebier, no da Botânica.

Como em outros ramos da Biologia, o pensamento mecanicista, experimental e positivo, aliado a novos e aperfeiçoados aparelhos e técnicas e a contribuições da Física e da Química, provocaria uma verdadeira revolução nos conceitos, pesquisas e estudos fisiológicos, da qual resultaria a criação da Fisiologia moderna. Claude Bernard, discípulo de François Magendie, foi seu criador[328], ao estabelecer firme base da experimentação na Fisiologia a exemplo das Ciências Exatas e experimentais (Física e Química). Na realidade, a contribuição de Claude Bernard, ao estabelecer a codificação do método experimental, vai além do mero campo fisiológico: "eis toda a ideia moderna nas ciências: conquistar a Natureza, arrancar-lhe seus segredos e deles se servir em proveito da Humanidade. A Física e a Química asseguraram ao Homem sua dominação sobre a Natureza bruta; a Fisiologia lhe conferirá a dominação sobre a Natureza viva" e "Por si mesmas, as teorias nada dizem a não ser que sejam sustentadas por fatos; por si mesmos, os fatos nada dizem, a não ser que sejam iluminados pelo raciocínio e pela teoria. O método experimental nada mais é que a ponderação desses dois elementos no raciocínio". Pelo método experimental, entendia Bernard que a Ciência poderia cumprir seu objetivo de "prever e agir". Em 1837, Dutrochet já afirmava existir

[328] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

apenas uma Fisiologia, Ciência geral das funções dos seres vivos, e prenunciava a criação de tal Ciência para breve.

Na *Introdução à Medicina Experimental* (1865), livro reputado como uma das obras-primas da Fisiologia moderna, e marco de sua fundação, Claude Bernard demonstraria que os fenômenos vitais dependem, não de forças misteriosas e fantasistas, mas de leis perfeitamente determinadas, precisas, fixas e previsíveis, como a matéria inanimada, e que toda manifestação do ser vivo é um fenômeno fisiológico, ligado a condições físico-químicas determinadas. Com seu trabalho, a força vital e a causa final seriam eliminadas do fenômeno fisiológico, intervindo apenas as condições físico-químicas[329]; a experimentação se aplicaria tanto à Fisiologia quanto à Física ou à Química.

Doutor em Medicina, pelo Colégio de França, em 1843, assumiu Claude Bernard (1813-1878), em 1855, com o falecimento de Magendie, a cátedra de Fisiologia no Colégio, acumulando o cargo com o que ocupava na Sorbonne. Foi membro da Academia Francesa de Ciências (1854) e da Academia de Medicina (1868). Suas contribuições nas áreas da Fisiologia e da Bioquímica, para o conhecimento dos mecanismos que regem o funcionamento dos seres vivos, o colocam como um dos mais eminentes cientistas modernos[330]. Pesquisou com Magendie os nervos espinhais e se dedicou ao estudo da digestão, circulação e sistema nervoso. Estudou as funções do pâncreas e descobriu o suco pancreático. Estudou as funções do fígado e descobriu (1857) uma substância semelhante ao amido, a que deu o nome de "glicogênio", cujo processo de glicogênese era função do fígado, primeiro exemplo de secreção interna; provou que o glicogênio era sintetizado a partir do açúcar encontrado no sangue. Claude Bernard descobriu, em 1851, o sistema vaso-motor, pelo qual certos nervos (simpáticos) controlam a dilatação dos vasos sanguíneos e outros, a sua contração, o que significaria o corpo humano dispor de um mecanismo de controle de distribuição de calor interno, e demonstraria, pela primeira vez, que os glóbulos vermelhos do sangue têm a função de levar oxigênio aos tecidos do corpo. Tais mecanismos, concluiu, mantinham o equilíbrio constante das reações físicas e químicas do meio interno, mesmo com as mudanças no exterior, pelo que os diversos órgãos deveriam estar sob vigilante controle central. Todas as pesquisas posteriores sobre vaso-motores se basseariam nos seus estudos e descobertas. O conceito de um sistema interno do organismo levaria ao atual "homeostase", estado de equilíbrio do organismo vivo em relação às suas várias funções e à composição química de seus fluidos e tecidos.

329 TATON, René. *La Science Contemporaine.*
330 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

Defendeu Claude Bernard a vivisseção como indispensável à pesquisa fisiológica, sustentou serem a Física e a Química essenciais para os fundamentos da Fisiologia, a qual, não se reduz, no entanto, a elas, e se opôs vigorosamente à ideia de força vital, que não explica a vida, cujo processo é devido a forças físico-químicas. Descobriu os efeitos do curare sobre os músculos e da estricnina sobre a medula espinhal[331].

Por sua aplicação a diversos fenômenos vitais, a descoberta da "osmose", passagem de solvente através de membrana semipermeável, em 1827, pelo botânico René Henri Dutrochet (1776-1847), foi marco importante no conhecimento da Fisiologia geral, tendo construído um "osmômetro" a fim de medir a pressão osmótica. A precariedade dos laboratórios e dos aparelhos da época não lhe permitira avançar muito no estudo do fenômeno, assunto que seria retomado por Wilhelm Pfeffer, que mostraria depender a pressão osmótica do tamanho das moléculas, tendo, inclusive, medido as moléculas gigantes, e escrito *Pesquisas Osmóticas e Estudos sobre Mecânica da Célula* (1877); Pfeffer é autor também de *Fisiologia das Plantas, um tratado sobre o Metabolismo e Fontes de Energia das Plantas* (1881). O botânico holandês Hugo de Vries (1848-1935) estudaria (1883/85), com um osmômetro, a relação entre a pressão osmótica e o peso da molécula nas células das plantas, tornando-se famoso por sua teoria da mutação, e por ter divulgado a obra de Mendel. O físico Jacobus Henricus Van't Hoff (1852-1911) enunciaria, em 1884, a lei da osmose, de que toda a matéria dissolvida exerce sobre uma parede semipermeável uma pressão osmótica igual à pressão exercida no mesmo volume por uma matéria gasosa com o mesmo número de moléculas.

Por motivos meramente expositivos, o exame da Fisiologia será desdobrado em duas partes: a Fisiologia animal e a Fisiologia vegetal.

6.22.2.1 Fisiologia Animal

Dois períodos distintos caracterizam a evolução da Fisiologia animal no século XIX; no primeiro, que corresponde à primeira metade do século, e cuja figura dominante foi a de Magendie, os estudos e pesquisas também de Bell, Müller, Hall, Florens, Gall, Matteucci, Purkinje, e alguns outros, prenunciam os trabalhos profícuos do segundo período, cuja mais importante figura seria a de Claude Bernard, com as significativas contribuições de Karl Ludwig, Helmholtz, Brücke, Sherrington, Broca, Brown-Séquard, Du-Bois Reymond, Vella, Pavlov e tantos outros.

---

[331] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

No primeiro período, François Magendie (1783-1855), membro da Academia de Ciências (1821) e professor de Medicina no Colégio de França (1830), foi o mais importante fisiologista, por sua posição de intransigente oposição ao vitalismo, de defesa do método experimental e de busca incessante e metódica dos fenômenos fisiológicos nos agentes físicos e químicos. Bernard, que o sucedeu, foi seu mais importante discípulo. Criou Magendie o primeiro laboratório numa escola médica e escreveu, em 1816, um *Sumário de Fisiologia*, primeiro texto de Fisiologia moderna, no qual mostrou a importância dos alimentos nitrogenados (proteína) na dieta dos mamíferos. Discordou das conclusões de Albrecht von Haller sobre regurgitação, ao notar a ação do diafragma e a passividade do estômago. Na mesma época e de forma independente em relação a Charles Bell, ocupou-se do fluido cérebro-espinhal e demonstrou que as raízes nervosas anteriores da medula espinhal eram motoras, isto é, levavam impulsos para os músculos, determinando, assim, seus movimentos, enquanto as raízes nervosas posteriores eram sensoriais, isto é, conduziam os impulsos para o cérebro, que os convertia em sensações; descobriu, adicionalmente, que as fibras sensíveis posteriores penetram nas raízes anteriores, dando-lhes uma sensibilidade recorrente. A explicação do fenômeno é conhecida como Lei Bell-Magendie. Por seus estudos sobre os efeitos dos alcaloides e sua aplicação (quinina, emetina, morfina, estricnina), deu Magendie preciosa contribuição para o desenvolvimento da farmacologia moderna.

Desse primeiro período, cabe ressaltar as seguintes importantes contribuições: Julien Legallois (1770-1814), que pesquisou o sistema nervoso nos gatos e coelho, e localizou na medula espinhal o "nó vital" e sua função de coordenar os movimentos respiratórios; escreveu, em 1812, *Experiências sobre o Princípio da Vida*; Charles Bell (1774-1842), anatomista escocês, professor de cirurgia da Universidade de Edimburgo, autor de *Nova Ideia da Anatomia do Cérebro* (1811), considerada a "magna carta da neurologia", e de *O Sistema Nervoso do Corpo Humano* (1830). Distinguiu os nervos sensoriais, que conduzem impulsos ao centro nervoso do sistema, dos nervos motores, que transmitem impulsos do cérebro ou de outros centros nervosos a um órgão periférico; Pierre Florens (1794-1867) pesquisou a localização do centro respiratório, estudou as funções do cerebelo e dos canais semicirculares[332]; Franz Joseph Gall (1758-1828), pioneiro no estudo da localização das funções cerebrais e o primeiro a identificar a massa cinzenta do cérebro com tecido ativo (neurônio) e a massa branca com tecidos condutores (gânglios); Johannes Peter Müller (1801-1858), principal fisiologista alemão da primeira

[332] THÉODORIDÈS, Jean. *Histoire de la Biologie.*

metade do século, influenciado pela escola da Filosofia da Natureza (*Naturphilosophie*), pela qual o organismo era a Natureza em pequeno e possuía três forças: reprodução, sensibilidade e irritabilidade. Em 1826, publicou *Estudo de Fisiologia comparada* sobre a visão animal e dos homens, em 1827, *Lições de Fisiologia*, e, em 1833/40, seu *Manual de Fisiologia*. Professor de Anatomia e de Fisiologia na Universidade de Berlim, teve Müller, como discípulos, Schwann, Virchow, Haeckel, Bois-Reymond, Helmoltz e Brücke, entre outros grandes nomes da Biologia alemã. Em fisiologia do sistema nervoso, confirmou Müller, por meio de experiências, a lei Bell-Magendie; Marshall Hall (1790-1857), médico inglês, que estabeleceu a existência do reflexo, movimento involuntário proveniente de impulsos nervosos da medula (*Sobre a função do reflexo da medula*, 1833); o checo Jan Evangelista Purkinje (1787-1869), professor da Universidade de Breslau, onde construiu o primeiro laboratório de Fisiologia (1842), pioneiro na Fisiologia experimental, com experiências em Histologia, Embriologia e Farmacologia. Estudou as funções do cérebro e do coração e pesquisou o olho e a visão; descobriu, em 1837, um grande número de células nervosas com extensões no cerebelo (célula Purkinje), e, em 1839, tecidos fibrosos que conduzem estímulos pelas paredes dos ventrículos a todo o coração, e descobriu, também, as glândulas de suor da pele; descreveu os efeitos da cânfora, ópio e beladona; e Carlo Matteucci (1811-1868) que, em 1838, ao estabelecer a diferença potencial entre um músculo e o nervo lesionado, escreveria *Ensaio sobre o fenômeno elétrico nos animais* (1840).

O segundo período da Fisiologia no século XIX corresponde ao triunfo definitivo da Fisiologia experimental sobre considerações de ordem extracientíficas, pelo extraordinário trabalho, já mencionado, de Claude Bernard. Desse fértil período, caberia ressaltar as contribuições importantes de diversos pesquisadores que ampliariam e aprofundariam o conhecimento das funções dos diversos órgãos.

Charles Edouard Brown-Séquard (1817-1894), sucessor de Claude Bernard no Colégio de França, pesquisou principalmente na área do sistema nervoso (medula, nervos motores, movimentos reflexos) e fez estudos pioneiros em Endocrinologia com as glândulas suprarrenais (1856)[333]. Ainda na França, Pierre Paul Broca (1824-1880), especializado em neurocirurgia, demonstraria, em 1861, que uma lesão em determinada parte do cérebro (terceira circunvolução do lóbulo frontal esquerdo) acarretava a perda da capacidade de fala, numa comprovação dos estudos de Gall; vinte anos depois o cérebro já estaria completamente mapeado e associado, área por área, a determinadas regiões do organismo. Defensor

[333] THÉODORIDÈS, Jean. *Histoire de la Biologie.*

da teoria evolucionista de Darwin e estudioso do crânio, dedicou-se Broca à medição do crânio (craniometria); identificou o crânio de um homem primitivo como o "Homem de Neandertal" e tornou-se divulgador da Antropologia, fundando sociedades, jornais e até uma Escola de Antropologia; Jules Marey (1830-1904) aperfeiçoaria, por meio de maior sensibilidade e precisão do aparelho, o método de Karl Ludwig para o registro da atividade fisiológica; Paul Richet (1850-1935), Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina (PNFM) de 1913, pela descoberta da anafilaxia, reação alérgica, pesquisou a fisiologia da respiração e da digestão.

O mais importante fisiologista alemão do período foi Karl Friedrich Wilhelm Ludwig (1816-1895), professor em Zurique, Viena e Leipzig, onde criou, em 1869, o Instituto de Fisiologia. Contribuiu decisivamente, como Johannes Müller, anteriormente, para a afirmação, na Alemanha, da Fisiologia experimental, oposta às teses da *Naturphilosophie*. Sua colaboração com Du Bois-Reymond, Hermann von Helmholtz e Ernst von Brücke seria de grande importância para a evolução do pensamento em Biologia, e em Fisiologia, em particular, na Alemanha. A criação de um programa de Biofísica na Sociedade Alemã de Física (1847), que fundou com Helmholtz e Brücke, e na qual aplicavam leis físicas e químicas aos fenômenos fisiológicos, é o marco mais significativo da História da Fisiologia na Alemanha. Pesquisou o sistema cardiovascular, com a ajuda de um aparelho que inventou, em 1846 (quimógrafo), para medir a pressão do sangue; ao demonstrar que a circulação sanguínea era explicada pela ação de forças mecânicas, assumiu uma posição antivitalista. Ludwig introduziu, também, o uso do registro gráfico e construiu uma bomba de mercúrio (1859) para separar os gases do sangue. Foi o primeiro, em 1856, a remover órgãos do corpo animal e a mantê-los vivos *in vitro* por um período de tempo, mediante o bombeamento de sangue dos mesmos (perfusão).

Hermann Ludwig von Helmholtz (1821-1894), matemático e renomado físico (Termodinâmica, conservação de energia, radiação eletromagnética, Óptica, Acústica), dedicou-se, igualmente, à Biologia; professor de Fisiologia, em Königsberg, de Anatomia, em Heidelberg, e de Física em Berlim, foi crítico do vitalismo e adepto da Fisiologia experimental. Pesquisou as funções do olho, e, em 1861, inventou o oftalmoscópio, aparelho para observar o interior do olho; projetou um oftalmômetro para medir a curvatura do olho e escreveu um manual de óptica fisiológica (1856/66); estudou o ouvido (1862), antecipando a função da cóclea, de detectar as diferentes alturas do som. Por seus trabalhos em Óptica e Acústica, Helmholtz é considerado como impulsionador da

fisiologia das funções sensoriais. Foi o primeiro a medir a velocidade do impulso nervoso (1850) e identificou (1848) o trabalho muscular como fonte de calor animal[334].

Ernst Brücke (1819-1892), aluno de Johannes Müller, e professor de Fisiologia em Viena, dedicou-se, como Helmholtz, à Fisiologia sensorial, em particular à visão e ao mecanismo da fala, mas pesquisou, também, a estrutura dos músculos e o aparelho digestivo. Famoso como veemente defensor da Fisiologia experimental, participou, com outros eminentes fisiologistas alemães, da implantação de uma Biologia cujos fenômenos teriam uma explicação nos agentes físicos e químicos, sem recurso a causas estranhas à Ciência[335].

No campo da Eletrofisiologia, Emil du Bois-Reymond (1818-1896), além de inventar instrumentos e técnicas para suas pesquisas sobre nervos e músculos, foi autor de *Pesquisas sobre a eletricidade animal* (1848/84) e contribuiu para o desenvolvimento da Fisiologia experimental na Alemanha. Eduard Pflüger (1829-1910) utilizaria técnicas físico-químicas de investigação nos estudos das funções de respiração e nutrição, estabelecendo, em 1877, o conceito de "quociente respiratório"; pesquisou (1853), igualmente, a "irradiação dos reflexos". Moritz Schiff (1823-1896) pesquisaria as tireoides (1859 e 1883).

William Sharpey (1802-1880), Michael Foster (1836-1907) e David Ferrier (1843-1928), autor de *Funções do Cérebro* e fundador de uma revista *O Cérebro*, foram os principais fisiologistas ingleses dedicados à pesquisa sobre o sistema nervoso e às localizações funcionais do córtex cerebral. A essas pesquisas, devem ser acrescentadas as de Carl Wernicke (1848-1904) sobre afasias, e de Eduard Hitzig (1836-1907), que identificou 15 localizações do movimento Pflüger (1829-1910) e Gustav Fritsch (1838-1891), nos anos de 1870, sobre o estímulo elétrico no cérebro, o que permitiria um conhecimento amplo, ao final do século, da localização das funções cerebrais. Os trabalhos de Charles Sherrington (1857-1952) sobre o sistema nervoso (rigidez da "decerebração", inervação recíproca, reflexos), iniciados no final do século XIX, concluiriam pelo conceito de função integrada do sistema nervoso (1906). William Bayliss (1860-1924) pesquisou o coração e o sistema nervoso, estabelecendo a prioridade dos estímulos químicos aos nervosos; com seu cunhado, o fisiologista Ernest Henry Starling (1866-1927), descobriria, em 1902, em suas pesquisas sobre o sistema digestivo (pâncreas) que a mucosa do intestino delgado segrega uma substância (secretina), responsável pelo

[334] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[335] THÉODORIDÈS, Jean. *Histoire de la Biologie.*

início da secreção do suco pancreático; posteriormente, Starling daria a todas as substâncias segregadas no sangue para estimular um ou mais órgãos o nome genérico de "hormônio", do grego "estimular a atividade".

Os três mais importantes fisiologistas russos foram Ivan Tarchanov (1848-1909), professor em São Petersburgo, aluno de Claude Bernard, que descobriu o reflexo psico-galvânico; Ivan Sechenov (1829-1905), professor em Odessa e Moscou, aluno, também, de Claude Bernard, que descobriu a inibição central dos reflexos medulares (1863); e Ivan Pavlov (1849-1936), aluno de Sechenov e Ludwig, que, em 1890, estudou a secreção gástrica com uma técnica, por ele desenvolvida, que lhe permitiu analisar as relações existentes entre o córtex cerebral e as secreções involuntárias das glândulas digestivas, na obra *Conferências sobre o trabalho das glândulas digestivas* (1897), que lhe valeu o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina (em 1904). Os trabalhos de Pavlov sobre reflexos condicionados (1898/1930), que o tornaram famoso, foram realizados no século XX, e são do âmbito da Psicologia, ainda que de orientação fisiológica.

Na Itália, Luigi Vella (1825-1886) pesquisaria o sistema digestivo, Luigi Luciani (1840-1919), o cerebelo (1891), e Angelo Mosso (1846-1910), inventor do ergógrafo, descobriria as leis da fadiga.

6.22.2.2 Fisiologia Vegetal

A precária, restrita e incipiente pesquisa na Fisiologia vegetal se limitou, praticamente, às iniciativas pioneiras, no século XVIII, de alguns poucos pesquisadores, como o jesuíta Nicolas Sarabat (1698-1737), o pastor inglês Stephen Hales (1677-1761), Jan Ingenhousz (1730-1779) e o pastor suíço Jean Senebier (1742-1809). O pleno desenvolvimento das pesquisas ocorreria ao longo do século XIX, paralelamente ao da Fisiologia animal, devendo-se assinalar as contribuições fundamentais de Saussure, Dutrochet, Liebig, Boussingault, Sachs, Pfeffer e Strasburger, na criação da Fisiologia vegetal.

6.22.2.2.1 Nutrição

Ao final do século XVIII, admitia-se que apenas dois corpos eram responsáveis pela alimentação das plantas: água e ar atmosférico, e que os sais eram tóxicos ou sem valor nutritivo, e o estrume teria apenas um papel indireto, não essencial, de proteção; o húmus, proveniente da

decomposição dos vegetais, não teria origem mineral; a terra e os sais das plantas resultariam da transmutação da água.

O grande valor da obra do jesuíta suíço Théodore de Saussure (1767-1845) está no rompimento com noções vitalistas, introduzindo a análise quantitativa nas pesquisas vegetais: em 1797, publicou três artigos sobre ácido carbônico e a formação dos tecidos vegetais, e, em 1804, nas *Pesquisas Químicas sobre os Vegetais*, confirmou a teoria de Stephen Hales de que as plantas absorvem água e dióxido de carbono na claridade e aumentam de peso. Saussure mostrou a importância da absorção do nitrogênio do solo, demonstrando que as plantas decompõem a água e se apropriam de seus elementos. Compreendeu Saussure o húmus como uma substância negra resultante da decomposição dos vegetais, sob a ação combinada do oxigênio e da água, e fonte de nitrogênio e carbono, e reconheceu o papel essencial nutritivo dos elementos minerais. A partir de 1808, escreveu sobre as reações bioquímicas das células das plantas. Como sintetizou Leroy, com Saussure, os problemas da nutrição se encontraram esclarecidos: a planta verde elabora a quase totalidade de sua substância desde a atmosfera e a água (carbono, oxigênio e hidrogênio); o nitrogênio e os sais minerais, ainda que em pequena quantidade, lhe são fornecidos, dissolvidos, na água do solo. Três meios intervêm, portanto, no processo: água, atmosfera e solo.

Após os trabalhos pioneiros de Saussure, prosseguiriam as pesquisas sobre a nutrição mineral, devendo ser ressaltado o trabalho do químico Justus von Liebig (1803-1873), considerado um dos fundadores da Química agrícola, reconhecido autor das leis fundamentais da Agricultura, de que os princípios minerais estão no solo em quantidades limitadas, e o que é retirado do solo pelas plantas lhe é restituído em seguida (*A Química e sua aplicação na Agricultura e na Fisiologia,* 1840). Argumentou que o crescimento das plantas era estimulado pelos nitratos, estrume e minerais, dos quais o solo era deficiente.

Em 1860, Julius von Sachs (1832-1897) utilizaria, por primeira vez, a técnica da cultura com base em soluções de sais minerais, início de uma nova era da fisiologia vegetal. Fórmulas líquidas sintéticas seriam, então, criadas por Jules Raulin (1863 e 1870), Johann Knop (1865), Emil Wolff (1866) e Wilhelm Pfeffer (1900). Ainda nesse século, seria estabelecida a necessidade absoluta de 13 corpos simples na alimentação mineral das plantas, sendo nove macroelementos em quantidades importantes: carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, fósforo, enxofre, cálcio, potássio e magnésio, e quatro corpos catalíticos: ferro, zinco, manganês e bório. Mais tarde, seria reconhecida a necessidade do cobre, do molibdênio e

do cloro (em alguns casos), mas contestada a do níquel, do cobalto e do alumínio na nutrição vegetal.

Nesse campo, foram fundamentais as pesquisas de Jean Baptiste Boussingault (1802-1887), de cuidadosa análise quantitativa e rigorosa experimentação, ao estabelecer o chamado "ciclo do nitrogênio" (1851/55), em que o nitrogênio livre do ar não é utilizado diretamente pelas plantas, sendo as diversas formas do nitrogênio no solo, e na formação de nitratos, da maior importância no processo. Suas pesquisas o colocam, ao lado de Liebig e Mulder, como um dos fundadores da Química agrícola, tendo criado, em 1836, a primeira estação experimental agrícola.

Em 1877, dois de seus alunos, Schloesing e Müntz, demonstrariam o papel da nitrificação no fenômeno biológico e, nos anos 1890/91, o bacteriologista russo Sergei Winogradsky (1856-1953) descobriria os micro-organismos nitrificadores, e definiria os princípios essenciais da nitrificação, distinguindo as bactérias nitrosas das nítricas.

A investigação da nutrição carbonatada, ou o ciclo do carbono[336], objeto de pesquisas por Joseph Pelletier e Joseph Caventou (a quem se deve o nome de clorofila), Henri Dutrochet, Lazare Garreau, Jean Baptiste Boussingault, Hugo von Mohl e Karl Wilhelm Naegeli, entre outros, teria um avanço significativo com o trabalho do botânico alemão Julius von Sachs (1832-1897), que demonstrou não estar a clorofila difusa em todos os tecidos da planta, mas confinada em alguns corpos dentro da célula, chamados cloroplastos; em 1862 e 1864, provou que o amido no cloroplasto decorria da absorção do dióxido de carbono, e estabeleceu que o amido é o primeiro produto visível da fotossíntese. Sachs é autor da Equação da fotossíntese, que permaneceu em vigor por várias décadas. Suas principais obras foram *Fisiologia Experimental das Plantas* (1865), *Manual de Botânica* (1868), e *História da Botânica* 1530-1860 (1875).

6.22.2.2.2 Respiração

Após os trabalhos pioneiros, no século anterior, de Lamarck (1778), Ingenhousz (1779) e Senebier (1800) sobre a respiração dos vegetais, Saussure, em *Memórias* publicadas em 1822 e 1833, confirmaria que a vida noturna das plantas está associada à emissão de gás carbônico e absorção de oxigênio, do que resulta uma produção de água e exalação de calor, e que os grãos em germinação respiram noite e dia.

[336] DAMPIER, William. *Pequena História da Ciência.*

René Henri Dutrochet (1776-1847) sustentaria, em 1837, que a respiração era uma função essencial nos vegetais e nos animais, cujo processo podia ser explicado por forças físicas e químicas, sendo a diferença apenas de fenômenos acessórios. Ao contrário de Saussure, que considerava a respiração como uma função com dois aspectos, a "inspiração" noturna e a "expiração" diurna, Dutrochet mencionaria um "modo normal" de respiração na claridade, com a liberação de oxigênio, e um "modo subsidiário" à noite. Caberia ao farmacêutico Lazare Garreau (1812-1892), em 1851, esclarecer; i) que as plantas respiram do mesmo modo, com a independência dessas duas funções, mas que na luz se produziria um fenômeno que interferia na respiração (fotossíntese); e ii) a continuidade do ato respiratório e sua extensão a todas as partes da planta, confirmado por Sachs, em 1873, na terceira edição de seu *Manual de Botânica*.

A equiparação da respiração vegetal à animal equivalia a uma combustão lenta, contínua, em todos os tecidos, pelo que passou a ser uma questão de Fisiologia geral. Claude Bernard, ao rejeitar a combustão e propor o equivalente à combustão, estabeleceria uma relação entre os fenômenos da respiração e da fermentação. A transformação do amido em glicose foi detectada por Gottlieb Kirchhof (1764-1833) em 1814, mas somente em 1833, Ansèlme Payen (1795-1871) e Jean François Persoz (1805-1865) explicariam o que chamaram de diástase, nome que criaram para esta matéria nova (fermento, levedura, enzima), que isolaram do malte. Seguiram-se descobertas de diástases: emulsina (Liebig-1837), lipase (Claude Bernard-1849), sacarase (Berthelot), lacase e tirosinase (Gabriel Bertrand, 1895, 1896). Em 1897, o químico alemão Eduard Büchner (1860-1927) iniciaria nova etapa da pesquisa da fermentação ao obter uma zimase, objeto da Enzimologia, cuja ação transforma a glicose em álcool.

6.22.2.2.3 Fecundação

Após os estudos pioneiros, em séculos anteriores, por Camerarius, Leeuwenkoek, Needham, Jussieu, o fenômeno da reprodução pela fecundação seria objeto de pesquisas, as quais muito se beneficiariam dos aperfeiçoamentos introduzidos no microscópio, especialmente por Giovanni Battista Amici (1784-1863). Os trabalhos de Amici (1823/30 e 1846) e de Adolphe Théodore Brongniart (1801-1876), de 1827, estabeleceriam que o processo da fecundação das plantas de flor começa

com a germinação do pólen no estigma, o que seria confirmado pelas pesquisas de K. F Gärtner (1844) e de Wilhelm Hofmeister (1849).

O gênese do embrião no fanerógamo, de 1849, as pesquisas com os criptógamos (cogumelos, algas) e sua descoberta da alternância regular da geração sexuada e assexuada em sementes, samambaias e musgos, por Wilhelm Hofmeister (1824-1877), além de seus trabalhos sobre morfologia comparada, são decisivos na compreensão da sexualidade vegetal. Uma série de pesquisadores contribuiria para o estudo da fecundação e sexualidade das plantas, como Karl Naegeli (1817-1891), Gustave Thuret (1817-1875), Eduard Strasburger (1844-1912), Nathanael Pringsheim (1823-1894) e Anton de Bary (1831-1888)[337].

6.22.3 Histologia – Citologia – Teoria Celular

Uma das grandes conquistas científicas do século XIX, comparável à teoria atômica para a Química e a Física, foi a da chamada Teoria celular, cujos desdobramentos seriam fundamentais para o extraordinário progresso do conhecimento biológico. O estudo da célula, unidade morfológica e fisiológica básica da matéria viva, abarca dois ramos da Biologia: a Histologia e a Citologia; a primeira é relativa à estrutura dos tecidos, e à segunda está afeto o estudo da estrutura e funções da célula. A célula é uma molécula de estrutura granular e envolta por fina membrana, composta principalmente de um núcleo, no qual estão (na espécie humana) 23 pares de cromossomos e os genes, e do citoplasma, de complexa estrutura, no qual se metabolizam os alimentos nutritivos, e é sede da energia para o resto da célula.

A célula foi descoberta por Robert Hooke (1635-1703), ao pesquisar a cortiça, e descrita em 1665, em sua *Micrografia*; aos pequenos compartimentos em forma de cápsulas deu o nome de célula (do latim *cella* para pequena câmara). Seguiram-se os trabalhos de Nehemiah Grew (1641-1712) em *Início da Anatomia dos Vegetais* (1671-71) sobre os vasos, as fibras e a sexualidade das plantas, bem como sobre os tecidos das plantas, a que chamou de "vesículas". Dessa época são as pesquisas de Marcello Malpighi (1628-1694) no campo da Fisiologia e da Anatomia, que constataria serem diversas partes da planta constituídas do que denominou de "utrículos". Ainda no século XVII e início do XVIII, Antony van Leeuwenhoek (1632-1723), pioneiro da Bacteriologia, descobriria, em suas investigações com o microscópio (1675), os protozoários, animais

[337] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

unicelulares, perceberia pequenas células nos glóbulos vermelhos do sangue dos peixes e nos espermatozoides, e faria observações semelhantes às de Grew e Malpighi em 1679[338].

Estrutura, composição e funções de tais células continuariam, contudo, desconhecidas por todo o século XVIII, embora, em seus últimos anos, se insiram as notáveis pesquisas do médico e biólogo Marie François Xavier Bichat (1771-1802), que constam de suas obras *Tratado das Membranas* (1800), *Pesquisas Fisiológicas sobre a Vida e a Morte* (1800), *Anatomia Geral* (1801) e *Anatomia Descritiva* (1801/02). Segundo Bichat, os órgãos do corpo humano são constituídos de camadas de matéria de certa textura ou trama, a que deu o nome de "tecido" (*tissue*, em francês). Como citado por Caullery e Leroy,

> todos os animais são formados de diversos órgãos que, executando suas funções, concorrem, cada um à sua maneira, à conservação do todo. São máquinas particulares na máquina geral que constitui o indivíduo. Ora, estas máquinas particulares são elas mesmas formadas por vários tecidos de natureza muito diferentes e que formam verdadeiramente os órgãos. A Química tem seus corpos simples, a Anatomia tem seus tecidos simples, que, por suas combinações, formam os órgãos[339].

Apesar de rejeitar o princípio geral fictício da força vital, suposto diretor do conjunto das manifestações da vida, Bichat apenas o descentralizou[340], no que seria criticado por Magendie. Como escreveu em 1800, nas *Pesquisas Fisiológicas sobre a Vida e a Morte*,

> a Física e a Química se tocam porque as mesmas leis presidem seus fenômenos, mas um imenso intervalo as separa da Ciência dos corpos organizados, porque uma enorme diferença existe entre suas leis e aquelas da vida. Dizer que a Fisiologia é a Física dos animais é dar uma ideia extremamente inexata. Gostaria tanto de dizer que a Astronomia é a Fisiologia dos astros.

Bichat distinguiu 21 tipos de tecidos, alguns próprios a certos órgãos (músculos e tecido nervoso) e outros comuns a todos os órgãos (tecido celular, hoje tecido conjuntivo); utilizou, para tanto, várias técnicas especiais, como a dissecação, putrefação, maceração, cocção, etc., não se utilizando, porém, do microscópio. Seu estudo fundou a Histologia

338 TRATTNER, Ernest. *Arquitetos de Ideias.*
339 TATON, René. *La Science Contemporaine.*
340 TATON, René. *La Science Contemporaine.*

(nome criado, em 1844, por Richard Owen, do grego *histos* para tecidos, e *logos* para estudo), a que deu o nome de Anatomia geral, sendo Bichat o primeiro histologista[341].

Investigações importantes nos ramos da Histologia e da Citologia seriam as de J. H. Moldenhawer (1766-1827), ao isolar células vegetais com a técnica da maceração (1812); as de Henri Dutrochet (1776-1847), descobridor do fenômeno da osmose, em 1827, ao isolar, em 1824, os urículos de Malpighi e ao publicar, em 1837 *Memórias para a História Anatômica e Fisiológica dos Vegetais e dos Animais*; as de Jean François Turpin (1775-1840), que publicaria, em 1826, suas *Observações sobre a Origem e a Formação Primitiva do Tecido Celular*, no qual reconheceu que os tecidos vegetais são constituídos de "vesículas"; as de François Vincent Raspail (1794-1878), em suas *Memórias* (1827/28) sobre a estrutura dos tecidos animais e vegetais; e as de Charles Louis Brisseau de Mirbel (1776-1854). Vale mencionar, ainda, as pesquisas de Ludolf Treviranus (1779-1864), em 1808; de Ernst Friedrich Meyer (1791-1858), em 1830 (Tratado de Botânica), que concluiria em 1831, ao acompanhar a formação das células na germinação dos esporos, pela geração das células umas das outras; e as de Robert Brown (1773-1858), descobridor do famoso movimento browniano, que descobriria, em 1831, nas células de algumas plantas, um pequeno corpúsculo a que chamou de "núcleo".

As pesquisas, dependentes, em boa medida, dos aparelhos, mas, até então, bastante prejudicadas pela pobre qualidade dos microscópios, viriam a se beneficiar com seu aperfeiçoamento e do emprego de objetivas acromáticas somente a partir dos anos 1820, graças, principalmente, aos trabalhos de Charles Louis Chevalier (1804-1859), Georg Oberhaüser (1796-1868) e Giovanni Battista Amici (1784-1863). Desde então, seria possível um rápido avanço no conhecimento da célula, animal e vegetal.

A teoria celular, designação imprópria, hoje em dia, por se tratar de um fato comprovado experimentalmente, se imporia, de imediato, nos meios científicos, e sua aceitação seria pacífica, sem polêmica e controvérsias ao contrário de outras teorias, como a da Evolução[342]. Sua formulação é devida a dois biólogos alemães: o botânico Mathias Jacob Schleiden (1804-1881) e o médico e histologista Theodor Schwann (1810-1882). Em 1838, Schleiden escreveria em sua obra *Contribuições à Fitogênese* que "a célula é um pequeno organismo... cada planta é um agregado de células completamente individualizadas e com uma existência própria". Schleiden consideraria que o núcleo era formado a partir de um líquido do conteúdo celular, a que

[341] THÉODORIDÈS, Jean. *Histoire de la Biologie.*
[342] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

denominou de "citoplasma". No ano seguinte, Schwann publicaria *Pesquisas Microscópicas*, estendendo ao reino animal a noção de célula como elemento fundamental do organismo. Schwann mostraria que os componentes dos tecidos, por mais que pudessem parecer diferentes uns dos outros, eram apenas células modificadas[343]. A teoria celular Schleiden/Schwann seria enriquecida e completada, no decurso do século XIX, com as descobertas e observações dos microscopistas, como o tcheco Jan Evangelista Purkinje (1787-1869), que, além de melhoramentos técnicos nos microscópios, cunhou, em 1839, a palavra "protoplasma" (o primeiro formado) para significar o material vivo dentro da célula. Tais descobertas e trabalhos construiriam, em poucos anos, a Citologia, com a intensificação das investigações para o entendimento da estrutura, constituição e funções da célula.

A ideia do citoplasma seria contestada pelo botânico Franz Julius Ferdinand Meyen (1804-1840), que reiteraria suas observações anteriores em monografias sobre células vegetais, nas quais afirmava que a formação de novas células seria devida à divisão de células preexistentes.

A descoberta fundamental de que toda célula provém da divisão de uma célula anterior culminaria com as pesquisas de Rudolf Virchow. Dentre os vários pesquisadores com importantes contribuições, caberia mencionar o botânico alemão Hugo von Mohl, que, em 1846, diferenciou o substrato aquoso e sem vida da célula (a que Schleiden chamara de citoplasma) do material granular e coloidal nele mergulhado, para o qual utilizou a denominação de protoplasma de Purkinje; o suíço Karl Naegeli (1817-1891), que estudou o processo de divisão celular das plantas, antecipando a noção de que uma célula só poderia originar de uma outra célula; o alemão Wilhelm Hofmeister (1824-1877) e o fisiologista Robert Remak (1815-1896), que, em 1843, descobriram as três camadas de germes no embrião: ectodermo, mesodermo e endodermo, em 1844, as células nervosas do coração, e, em 1852, demonstraram que todas as células em todos os tecidos eram resultantes da divisão de célula preexistente; o patologista alemão Friedrich Gustav Henle (1809-1885), professor em Zurique, Heidelberg e Göttingen, que publicaria, em 1846, obra de Patologia na qual estudaria o tecido anormal em comparação com a fisiologia do tecido normal; o suíço Albert von Kolliker (1817-1905), primeiro a interpretar a estrutura do tecido em termos de elementos celulares, e autor, em 1852, do *Manual de Histologia Humana*, e, em 1861, de *Embriologia do Homem e dos Animais Superiores*; e o anatomista alemão Karl Gegenbaur (1826-1903), que, em 1861, demonstraria ser o ovo, como todos os óvulos e espermatozoides, uma célula simples. A definição moderna de

343 MAYR, Ernst. *Isto é Biologia.*

célula seria de autoria, em 1854, de Max Schultze (1825-1874) como "uma pequena massa de protoplasma envolvendo um núcleo"[344].

O patologista alemão Rudof Virchow (1835-1902) provou, em 1858, que a teoria celular se aplicava igualmente aos tecidos doentes, que as células destes provinham de células normais do tecido comum e que a doença não equivalia a uma súbita ruptura ou a uma descontinuidade, mas a um uniforme desenvolvimento de uma condição anormal. Em 1858, escreveu *Patologia celular*, e, em 1860, Virchow sumariou sua teoria no célebre opúsculo *Todas as células se originam de células*, com implicações diretas no repúdio à geração espontânea, e mostrou que as células eram o último elo da grande cadeia de formações subordinadas que criam tecidos, órgãos, sistemas e o indivíduo[345]. Daí seu famoso adágio: *omnis cellula e cellula*, ou, toda célula provém de uma célula anterior[346].

O médico e citologista italiano Camillo Golgi (1843-1926) ganharia (com Ramón y Cajal) o Prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia, em 1906, por seu trabalho a respeito da fina estrutura do sistema nervoso. Ao descobrir, em 1873, um método de corar as células com sais de prata, pôde identificar componentes celulares (corpos de Golgi e complexo de Golgi) e descobriu os processos das células nervosas com detalhes sem precedentes, provando a correção da hipótese de Wilhelm von Waldeyer (1836-1921), de que as fibras nervosas não se ligam, havendo diminutos intervalos entre elas (sinapses).

O histologista espanhol Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), professor de Anatomia descritiva (Valencia, 1883), de Histologia e Anatomia patológica (Barcelona, 1887; Madri, 1892), receberia, com Golgi, o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina (PNFM), em 1906, por sua extraordinária contribuição para o conhecimento do sistema nervoso. Suas pesquisas sobre as células nervosas começaram tão logo se informou dos trabalhos de Golgi. Em 1889, já conseguiria determinar as conexões celulares na massa cinzenta do cérebro e na medula espinhal, além da estrutura nervosa da retina. Criou a teoria dos neurônios (células compostas de núcleo e citoplasma, mas que não se reproduzem), cujo nome foi criado por Waldeyer em 1891[347], pela qual estabelecia que o sistema nervoso era constituído apenas de neurônios e de seus prolongamentos. A exemplo de Golgi, estabeleceu um método de corar as células com ouro, o que lhe permitiria as investigações da estrutura do tecido nervoso no cérebro e nos centros sensoriais. Escreveu, entre outras obras, o *Manual de Histologia Normal e Técnica Micrográfica* e *Degeneração e Regeneração do Sistema Nervoso.*

344 THÉODORIDÈS, Jean. *Histoire de la Biologie.*
345 RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*
346 COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*
347 COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

Ainda na área da Histologia do sistema nervoso, cabe mencionar os estudos do biólogo sueco Magnus Gustaf Retzius (1842-1919), em especial seu importante livro *O Cérebro Humano*, de 1896.

Em 1879, uma importante descoberta seria realizada pelo anatomista alemão Walther Fleming (1843-1915), a dos cromossomos, cujo comportamento no núcleo da célula durante a divisão normal da célula (mitose)[348] seria observado e descrito sistematicamente. Como muitas células são transparentes, Fleming começaria a usar corantes em suas investigações, descobrindo que certas partes da célula absorviam certos corantes, enquanto outras não, de modo que as células transparentes poderiam ser observadas em microscópios. Observou, espalhado pelo núcleo celular, certo material que absorvia o corante empregado, ao qual deu o nome de "cromatina" (da palavra grega *cromo*, para cor). No momento do início do processo de divisão da célula, a cromatina se juntava para formar certos corpos em forma de fio, que foram depois chamados de "cromossomos" (corpos coloridos), termo criado, em 1888, por Waldeyer. A esse processo de divisão indireta, Fleming deu o nome de "mitose", da palavra grega para "fio". Em 1882, publicou *Substância Celular, Núcleo, e Divisão Celular*.

O citologista belga Edouard Beneden (1846-1910), em suas pesquisas sobre os cromossomos, faria, em 1887, duas importantes descobertas: a de que seu número era constante nas várias células de um organismo, e que esse número era característica para cada espécie; e a de que, durante a formação das células sexuais, a divisão cromossomial numa das etapas da divisão celular não era precedida de duplicação; cada óvulo e cada espermatozoide possuíam apenas a metade do número normal de cromossomos (46), o que corroboraria a teoria da hereditariedade de Mendel. Por essa mesma época, Oskar Hertwig (1849-1922) sustentava que a fusão dos núcleos do espermatozoide e do óvulo era essencial para a fertilização[349], o que seria confirmado por H. Fol.

Theodor Heinrich Boveri (1862-1915) se dedicaria, de 1885 até 1893, a pesquisas citológicas, comprovando a teoria de Beneden de que o óvulo e a célula do espermatozoide contribuíam com o mesmo número de cromossomos à nova célula criada durante a fertilização. Provaria que os cromossomos são entidades separadas e contínuas dentro do núcleo da célula, e demonstraria a importância do citoplasma para os cromossomos. August Weissmann, dentre suas inúmeras contribuições para o desenvolvimento da Biologia em geral e da Biologia evolutiva, em particular, demonstraria, como Van Beneden e Boveri, serem os cromossomos componentes essenciais do núcleo da célula.

[348] GRIBBIN, John. *Science, a History*.
[349] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

Com a redescoberta da Genética, em 1900, importantes avanços na compreensão da célula se dariam, já no início do século XX.

6.22.4 Embriologia

A criação da Embriologia significou o fim da controvérsia, até então inconclusiva, entre as várias teorias da formação do ser no corpo materno. Desde o século XVI que os estudiosos estavam divididos entre os que defendiam o desenvolvimento do germe no óvulo (Harvey, Regner de Graaf) ou da formação gradual do embrião, e os que sustentavam o preformismo (Malebranche), ou que todos os órgãos do animal existiriam, em miniatura, no ovo, e que o processo se resumiria no desenvolvimento do embrião pré-formado. O impasse continuaria no século XVIII, com os trabalhos, entre outros, de Charles Bonnet, Pierre Maupertuis, Lazaro Spallanzani e Georges Buffon. Obra inovadora seria, contudo, a do biólogo alemão Caspar Friedrich Wolff (1733-1794), pioneiro da Embriologia descritiva. Em seus livros *Theoria Generationis* (1759) e *De Formatione Intestinorum* (1768) apresentaria sua teoria da "epigênese", pela qual o desenvolvimento embrionário gradual se devia a uma força essencial que organizava a matéria viva, sendo que o mesmo princípio do desenvolvimento animal se aplicava às plantas e ao pinto dentro do ovo. Diante da forte oposição (Albrecht von Haller) da comunidade científica e religiosa a essas ideias, Wolff emigrou para a Rússia, a convite de Catarina II, onde se dedicaria a outras atividades científicas.

No século XIX, a Embriologia, inicialmente, descritiva, se completaria com a chamada Embriologia comparada, evoluindo, no último quarto do século, para uma Embriologia experimental dedicada ao conhecimento dos mecanismos do desenvolvimento embrionário.

Todo indivíduo provém de uma célula-ovo, a qual resulta da fusão de dois elementos celulares chamados "gametas": o espermatozoide, masculino; e o óvulo, feminino. O estudo da origem dos gametas, o conhecimento do processo de sua fusão e a constituição do ovo foram importantes progressos que estão na base da fundação da Embriologia moderna. A compreensão global do processo está refletida no célebre adágio que rege a descendência, crescimento e desenvolvimento dos organismos *Omnis cellula e cellula* (toda célula vem de outra célula), do patologista Virchow, complementado pelo igualmente famoso *Omne vivum ex vivo* (todo ser vivo vem de outro ser vivo), de Pasteur.

A primeira importante descoberta ocorreu em 1817, quando Christian Pander (1794-1865) descreveu camadas de tecidos no ovo. Pouco depois, o médico suíço Jean Louis Prevost (1790-1850) e o químico francês Jean Baptiste Dumas (1800-1884) examinariam, em 1825, o ovário de uma cadela e notaram a presença, nas vesículas ovarianas, de pequenos óvulos, de 1 a 2 milímetros de diâmetro, e presumiram tratar-se dos verdadeiros ovos.

Numa *Memória* intitulada *De ovi mammalium et hominis genesi*, de 1827, endereçada à Academia de Ciências da Rússia, o biólogo russo-alemão Karl Ernst von Baer (1792-1876), que fizera a mesma pesquisa, confirmaria o entendimento Prevost-Dumas. Obra fundamental seria escrita por von Baer com o título *Sobre o Desenvolvimento dos Animais*, em dois volumes (1828-1837), na qual confirmaria a descoberta de Pander, de 1817, demonstrando que o ovo em seu desenvolvimento se compõe de quatro camadas germinativas de tecidos, que darão origem a órgãos no embrião[350]. Em 1845, Robert Remak provaria tratar-se, na realidade, de três camadas, às quais denominou de ectoderma, mesoderma e endoderma. Dessa obra, considerada um marco da Embriologia descritiva e comparada, von Baer formularia a lei biogenética fundamental baseada em quatro proposições: i) no desenvolvimento embrionário, as características gerais aparecem antes das características particulares; ii) as características menos gerais se desenvolvem depois das mais gerais e são seguidas pelo desenvolvimento das características particulares; iii) no desenvolvimento de uma espécie, ela se afasta cada vez mais dos animais de outras espécies; e iv) em seu desenvolvimento, as espécies superiores passam por estágios embrionários que lembram os de espécies inferiores[351]. Von Baer descobriria, ainda, que todos os vertebrados, numa fase precoce, possuem, durante um curto período, o "notocórdio", estrutura longitudinal nas costas dos animais, descreveria as cinco vesículas primárias do cérebro e identificaria os precursores do sistema nervoso.

Ao mesmo tempo, se desenvolviam pesquisas sobre os gametas, em particular as de Albert von Kölliker (1841), Rudolf Wagner (1827 e 1849) e Karl Leuckart (1849) que estabeleceram a origem testicular e a função do espermatozoide[352].

Após a formulação da teoria celular, foi reconhecido que o ovo e o espermatozoide são células. Entre 1883 e 1887, o biólogo belga Edouard van Beneden, investigando o *ascaris* do cavalo, mostrou que os cromossomos se encontram em número igual no núcleo do óvulo e no do espermatozoide, sendo que contêm duas vezes menos cromossomos que

---

[350] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[351] THÉODORIDÈS, Jean. *Histoire de la Biologie.*
[352] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

o núcleo das células germinais das quais vêm (é o fenômeno da meiose ou redução cromática, que será confirmada por Boveri em 1887).

O zoólogo Ernst Heinrich Haeckel (1834-1919), fervoroso defensor da teoria evolucionista de Darwin e a quem se deve o termo "ecologia", retomaria as observações de Karl von Baer, de que embriões muito jovens de diferentes vertebrados assemelhavam-se entre si, e defenderia que cada organismo recapitulava toda sua história evolutiva ao longo de seu desenvolvimento embrionário. Formulou, então, o que chamou de "lei biogenética fundamental", segundo a qual a "ontogenia repete a filogenia", ou seja, o desenvolvimento individual resume o desenvolvimento da linhagem[353]. Ainda que inexata para o organismo, a fórmula de Haeckel se aplicaria aos órgãos, posto que o embrião humano possui órgãos análogos (notocórdio, coração, etc.) aos de um embrião de peixe, mas, em nenhum momento de seu desenvolvimento o embrião humano possui a organização de um peixe adulto[354]. Haeckel é autor de *Morfologia Geral dos Organismos*, de 1866, na qual expôs sua teoria evolucionista e a natureza orgânica e inorgânica sob as mesmas leis físicas. Defendeu que as criaturas inferiores eram protoplasmas sem núcleo e que teriam surgido espontaneamente pela combinação de carbono, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e enxofre.

Ao final do século, a Embriologia se tornaria experimental, com o aperfeiçoamento das técnicas de microdissecção, sendo seus principais promotores o francês Laurent Chabry (1855-1894), que notou (1887) a formação de meio-embriões, quando uma das duas primeiras células (blastômeros) do ovo não se desenvolve, e mostrou que se poderia obtê-los com a destruição dos blastômeros do ovo; e dos alemães Wilhelm Roux (1850-1924), que pesquisou, numa série de experimentos (1888), o desenvolvimento do ovo da rã e seu papel no desenvolvimento precoce do embrião e Hans Driesch (1867-1941) que, em 1891, faria a demonstração do fenômeno da formação de uma larva completa, a partir de blastômeros separados[355].

6.22.5 Microbiologia

A Microbiologia é um extenso campo da Biologia, porquanto estuda o vasto Mundo dos micro-organismos (estrutura, funções e classificação de protozoários, algas, bactérias e vírus), conhecido a partir

[353] THÉODORIDÈS, Jean. *Histoire de la Biologie.*
[354] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[355] THÉODORIDÈS, Jean. *Histoire de la Biologie.*

do século XVII com o desenvolvimento do microscópio e das pioneiras descobertas de Leeuwenhoek. A Microbiologia se constituiria num ramo da Biologia com os avanços teóricos e experimentais na segunda metade do século XIX, em que despontaram os nomes de Louis Pasteur e Robert Koch, e representaria uma conquista científica de imenso valor social, por suas imediatas implicações na solução de problemas relacionados com a saúde humana. O estudo dos micro-organismos (bactéria, vírus, bacilos, micróbios, etc.) contribuiria para um melhor conhecimento de fenômenos biológicos, como o metabolismo e a geração da vida, e seria de capital importância no progresso da Medicina, ao descobrir as causas das doenças e ao fornecer meios para combater infecções e contágios, por meio da imunologia[356].

A criação do Instituto Pasteur e de outros laboratórios desse gênero em muitos países seria um fator decisivo para a expansão das pesquisas, aperfeiçoamento de equipamentos e aplicação de novas técnicas, como a da cultura de micro-organismos, a da utilização de gelatina (agar-agar) na nutrição de bactérias e a do uso de corantes para facilitar a pesquisa microscópica, ainda no século XIX, e que continuariam e se intensificariam no século seguinte. Suas principais áreas de estudo são a Bacteriologia, a Virologia e a Protozoologia.

6.22.5.1 Bacteriologia

O conhecimento a respeito das bactérias foi muito superficial até meados do século XIX, uma vez que era de interesse de um limitado número de pesquisadores. O conhecimento atual da morfologia das bactérias é devido, principalmente, aos trabalhos de classificação do botânico e bacteriologista alemão Ferdinand Cohn (1828-1898), publicados entre 1853 e 1872, enquanto o químico francês Pasteur se dedicava a estabelecer o vínculo entre bactéria e os processos de fermentação e moléstia. A Cohn se deve a descoberta de que os bacilos (do latim *bacillus*, para pequeno bastão) cresciam de pequenos corpos redondos, ou esporos, os quais eram resistentes ao calor[357]. Desse período, datam a introdução de técnicas de formação de manchas com o uso de corantes e a utilização de meios sólidos gelatinosos (agar-agar) na nutrição bacteriana.

A questão da geração espontânea da vida tornou-se um tema central e polêmico, após os trabalhos, no século XVII, de Francesco Redi

[356] LIMA, Darcy. *História da Medicina.*
[357] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

(*Experiências sobre a Geração dos Insetos*, 1668) e as pesquisas microscópicas de Leeuwenkoek sobre os mexilhões, e no século XVIII, por Needham, Buffon e Spallanzani (*Observações e Experiências referentes aos Animálculos das Infusões*, 1776).

Com a falta de uma explicação total e completa do fenômeno, o que motivava a controvérsia, a questão continuaria a ser investigada no século XIX. Franz Schultze (1836) e Theodor Schwann (1837) mostrariam, experimentalmente, que, apesar da renovação regular do ar no frasco, não era o ar o causador da putrefação. Ainda assim, o biólogo Félix Pouchet (1800-1872) apresentou um trabalho à Academia de Ciências da França, em 1858, e no ano seguinte publicou *Heterogenia ou Tratado sobre a Geração Espontânea, baseado em novas Experiências*, no qual alegava ter conseguido provar a geração espontânea. Com vistas a esclarecer o tema, a Academia organizou um concurso, assumindo a responsabilidade do veredicto[358]. O químico Louis Pasteur (1822-1893), que, em 1854, já havia estudado a fermentação da cerveja (*Memória sobre a Fermentação chamada Láctica*, 1857), concluindo que o processo era devido à presença de organismos vivos no ar, interessou-se pelo tema e participou do concurso.

Pasteur reproduziria as experiências de Schwann e procederia a uma série de investigações, nas quais mostraria que o ar atmosférico sempre contém micro-organismos, e que tais seres vivos são encontrados em substâncias, quando expostas ao ar[359]. O número de micro-organismos dependia da variação de umidade e temperatura do ar, bem como da altitude. Para tanto, chegou a subir o monte Poupet, nas montanhas Jura, abriu os frascos de sua experiência e demonstrou que essas regiões mais elevadas estavam relativamente sem contaminação. Aqueceu frascos de vidro com gargalos altos e os micro-organismos não apareceram depois da ebulição. Pasteur realizou, igualmente, experiências sobre a putrefação, nas quais uma infusão poderia continuar esterilizada num frasco aberto, desde que o gargalo do frasco fosse estreito e estivesse para baixo, provando, assim, que o micro-organismo tinha peso.

Em 1861, na *Memória sobre Corpúsculos organizados que existem na Atmosfera*, Pasteur exporia os resultados de suas pesquisas e resolveria definitivamente a controvérsia, com suas provas de que não se tratava de geração espontânea, mas simplesmente de um processo de contaminação pelos germes do ar, o que daria origem à técnica bacteriológica de esterilização (pasteurização) dos meios de cultura.

---

[358] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

[359] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

Deve ser registrado, contudo, que alguns defensores da geração espontânea (Pouchet, Joly, Musset e Henry Bastian) tentaram apresentar evidências contrárias às comprovações de Pasteur, mas tais alegações seriam contestadas pelo próprio Pasteur, e por Joubert, Chamberland e Tyndall, entre outros. Desta forma, as antigas noções de força vital e geração espontânea foram definitivamente desacreditadas e abandonadas na segunda metade do século XIX, extraordinária conquista da Biologia experimental.

Nos anos de 1860, uma praga assolava a criação do bicho-da--seda, ocasionando enormes prejuízos à tecelagem da seda. Investigações microscópicas de Pasteur revelaram que a contaminação era devida a um micro-organismo oriundo da alimentação, o que determinaria medidas de ordem sanitária e de reprodução, pelo controle dos ovos contaminados.

Nome tão importante quanto o de Pasteur na Bacteriologia é o de Robert Koch (1843-1910, PNMF de 1905) por suas pesquisas, que resultaram no isolamento dos micróbios causadores do antraz (*bacillus antracis*, 1876), da tuberculose (bacilo de Koch, 1882) e do cólera (1882)[360]. Autor de *Métodos para o Estudo dos Organismos Patogênicos*, Koch contribuiria ainda para a moderna Bacteriologia com seus famosos postulados de pesquisa médica: i) o organismo que causa a doença precisa estar presente em todos os casos; ii) uma cultura pura do organismo deve poder ser obtida; iii) a cultura produzirá a doença, quando animais saudáveis e suscetíveis forem inoculados; e iv) o organismo deve ser encontrado no animal doente. Koch estudaria uma série de doenças infecciosas. Ele também fez investigações específicas sobre o cólera, a malária, a lepra, a disenteria, o tracoma, o tifo, a peste bubônica e a febre aftosa. E descobriria ainda que a febre do sono era causada pela picada da mosca tse-tsé, além dee contribuir, como Pasteur e Lister, para a melhoria das condições sanitárias, inclusive nos hospitais.

6.22.5.2 Virologia

A Virologia estuda os vírus (do latim para veneno): um heterogêneo conjunto de agentes autorreprodutores, menores que as bactérias. Algumas doenças causadas por vírus, que não eram detectados pela observação por meio do microscópio, já eram conhecidas no final do século XVIII, objetos de vacina contra o cólera desenvolvida pelo médico inglês Edward Jenner (1749-1823).

Precedido de fama por seus trabalhos em Cristalografia, Bioquímica, fermentação, geração (1861) e doença do bicho-da-seda (1865), Pasteur

[360] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

iniciou, em 1880, uma série de pesquisas que culminaram na criação de vacinas contra o vírus do cólera nas aves (1880), do antraz no gado (1881) e da raiva (1885)[361]. Além das anteriormente citadas contribuições de Koch, devem ser mencionadas as pesquisas, entre outras, de Agostino Bassi (1773-1856), que pesquisou o bicho-da-seda e foi pioneiro na descoberta dos micro-organismos como causadores de doenças nos humanos; do entomologista Jean Victor Audouin (1797-1841), autor de diversos livros sobre insetos, inclusive sobre seus ataques aos vinhedos; do professor de Medicina Johann Schönlein (1793-1864); do médico e patologista alemão Jacob Henle (1809-1885), autor de *Miasma e Contágio*, sobre a teoria dos germes como responsáveis pelas doenças; de Ferdinand Cohn (1828-1898) e de Casimir Davaine (1812-1882) que isolou o bacilo "antraz".

6.22.5.3 Protozoologia

A Protozoologia (do grego *proto*, para primeiro e *zoo*, para animal) é a área da Microbiologia que estuda os mais simples animais, os protozoários, observados a partir do século XVII. As pesquisas se concentraram, particularmente, nos parasitas que causam a malária e a doença do sono, o que significou um primeiro avanço no estudo da medicina tropical. O zoólogo belga Pierre-Joseph van Beneden (1809-1894) especializou-se nas pesquisas sobre parasitas e escreveu *Les Commensaux et les Parasites dans le Règne Animal* (1875). Fungos, levedura, húmus, liquens e algas foram, igualmente, objeto de estudos, devendo ser ressaltadas as contribuições do alemão Anton de Bary (1831-1888), como a da simbiose para descrever o benefício mútuo dos componentes do líquen; e do húngaro David Gruby (1810-1888) , com diversos trabalhos na área dos fungos.

6.22.6 Paleontologia

A palavra "paleontologia, (do grego *palaios*, para antigo, *ontos*, para ser, e *logos*, para estudo), foi criada em 1822, pelo anatomista francês Henri de Blainville (1777-1850) para designar a Ciência que estuda os fósseis, ou os restos ou vestígios de antigos animais e plantas, que se conservaram em determinadas rochas[362]. A Paleontologia, por seus estreitos vínculos com a Zoologia e com a Botânica, pode ser enquadrada como ramo da Biologia, inclusive por sua contribuição para as investigações em Anatomia

[361] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
[362] BUFFETAUT, Eric. *Histoire de la Paléontologie.*

comparada e Evolução. Ao mesmo tempo, interage intensamente com a Geologia, da qual recebe uma série de informações preciosas para a compreensão do fóssil sob estudo, mas também contribui para o trabalho do geólogo, ao fornecer dados sobre as camadas geológicas.

Apesar de serem os fósseis conhecidos desde a Antiguidade, tendo Aristóteles reconhecido serem eles vestígios de antigos seres vivos, o que seria defendido, igualmente, por Alberto Magno, Leonardo da Vinci, Bernard Palissy, Conrad Gesner, Atanasius Kircher, Robert Hooke, Buffon e tantos outros, somente nos primeiros anos do século XIX o estudo dos fósseis se constituiria numa Ciência, cujo rápido desenvolvimento seria crucial para o conhecimento da vida nos diversos períodos geológicos.

O naturalista Georges Cuvier, criador da Anatomia comparada, é reconhecido também como o fundador da Paleontologia. Em 1796, já tratara da questão da descoberta do elefante na Europa, na Sibéria, na América do Norte e no Peru, esclarecendo a diferença de dentes entre os mamutes e os elefantes. A extinção dos mamutes lhe parecia provar a existência de um Mundo anterior destruído por catástrofes sucessivas, as quais seriam objeto da Geologia com o apoio das evidências proporcionadas pelos fósseis. Elucidou, nesse mesmo ano, o mistério de um enorme esqueleto encontrado perto de Buenos Aires, em 1788, ao qual deu o nome de "megatério", relacionando-o com o ancestral da "preguiça" atual. Pouco depois, estudaria um réptil que seria capaz de voar, encontrado na Baviera, ao qual deu o nome de "pterodáctilo". Em 1812, apareceria a primeira edição de *Pesquisas sobre a Ossada Fóssil onde se estabelecem as Características de Diversos Animais cujas revoluções do Globo destruíram as Espécies*, livro que seria reeditado, em 1821/24 e 1825, ampliado com *Exposição sobre as Revoluções da Superfície do Globo e sobre as Mudanças que elas produziram no Reino Animal*.

Não tendo sido descobertos ainda fósseis humanos, Cuvier limitaria seus estudos aos quadrúpedes, mais precisamente aos mamíferos, que, por serem espécies mais conhecidas e menos numerosas, seria mais fácil garantir se o fóssil pertencia a uma delas ou a uma espécie extinta. Para tanto, aplicaria o método confiável que estabelecera para a Anatomia comparada, cujo princípio era o da "correlação das formas": a partir de um osso, seria capaz de determinar a que animal pertencera tal fragmento, da forma de um dente se poderia deduzir a forma dos membros e dos órgãos digestivos.

Cuvier identificaria três diferentes populações que habitaram sucessivamente áreas da Terra: peixes e répteis monstruosos, os mamíferos terrestres, e, posteriormente os mamutes, os mastodontes, os hipopótamos

e os rinocerontes. Ainda, segundo Cuvier, uma quarta e última etapa seria a idade do Homem e das espécies domésticas.

Alexandre Brongniart (1770-1847), um dos fundadores da Paleobotânica, trabalharia com Cuvier em pesquisas geológicas na região de Paris, na qual reconheceriam sete formações geológicas principais, caracterizadas por camadas diferentes de depósitos e de fósseis. Juntamente com os trabalhos de William Smith (1769-1839) na *Carta Geológica da Inglaterra, do País de Gales e de parte da Escócia*, de 1815, essas investigações pioneiras combinariam os estudos dos fósseis com as camadas geológicas, permitindo a reconstituição da história geológica da região sob estudo.

Na chamada Paleontologia estratigráfica, e já nos primeiros decênios do século, vários autores procurariam definir as unidades de tempo reconhecíveis por meio dos fósseis e estabelecer uma nomenclatura para essa cronologia. Alcide d'Orbigny (1802-1857) reconheceria 27 etapas correspondentes a sucessivas criações, separadas pela eliminação total da vida sobre o planeta, e os geólogos britânicos Adam Sedgwick (1785-1873) e Roderick Murchisosn (1792-1871) definiriam as etapas Cambriana, Siluriana e Devoniana.

Haveria rápido desenvolvimento do conhecimento paleontológico na primeira metade do século, ou até a obra de Darwin, ainda que esse conhecimento das formas intermediárias e das linhagens evolutivas fosse precário, insuficiente e com muitas lacunas. William Buckland (1784-1856) descobriria, em 1824, restos de um grande réptil terrestre, do período Jurássico, ao qual deu o nome de *Megalossauro*; o médico Gideon Mantell (1790-1852) encontraria, em 1825, no sul da Inglaterra, um réptil gigante, que denominou *Iguanodon*, sugerindo a noção de idade dos répteis; em 1842, Richard Owen daria o nome de *Dinossauro* a esses animais gigantescos, estudaria os peixes da era primária, se dedicaria, a partir de 1839, por meio século, à pesquisa sobre os répteis, escreveria várias Memórias sobre os fósseis de crocodilos e investigaria mamíferos europeus e faunas extintas da Austrália; Alexandre Brongniart e o suíço Oswald Heer (1809-1883) se dedicariam, também, a fósseis vegetais; Joachim Barrande (1799-1883) pesquisou a Boêmia; Johann Jakob Kaup (1803-1873) descobriu o réptil *Chirotherium*; Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, que estudou os crocodilos do Jurássico, descobriu o *Sivatério*, ruminante dos terrenos pliocenos do Himalaia; os americanos Caspar Wistar (1761-1809), autor de trabalho, em 1799, sobre o *Megalonysc*, e o Presidente Thomas Jefferson (1743-1826) que, em 1797, identificou o mamífero *Megalonix*.

Importantes e relevantes contribuições ao conhecimento paleontológico são devidas, ainda, a Edouard Lartet (1803-1871), que

descobriria na região de Saint-Gaudens, ao pé dos Pirineus, o Pliopiteco (primeiro macaco fóssil), o Driopiteco (grande símio antropomorfo que antecipava o gorila e o chimpanzé) e que dividiria o tempo quaternário em quatro fases: a era do Grande Urso, a era do Mamute, a era da Rena e a era do Auroque; Paul Gervais (1816-1879), autor de *Zoologia e Paleontologia Francesa* (1859) e *Zoologia e Paleontologia Geral* (1867/69), com descrições pormenorizadas de um grande número de vertebrados; Hermann von Meyer (1801-1869), que publicou suas pesquisas sobre os répteis, e, em 1861, revelou o importante *Archaeopterix*, do Jurássico superior, que estabeleceu a transição entre os répteis e os pássaros, estudado, entre outros, por Owen, Andréas Wagner (1797-1861); Thomas Huxley (1825-1895); o suíço-americano Louis Agassiz (1807-1873), autor de *Pesquisa sobre os Peixes Fósseis* (1833/38) e *Pesquisa acerca dos Peixes dos velhos Arenitos Vermelhos*; e o alemão Hugh Weddell (1819-1879) que realizou importantes pesquisas na Bolívia sobre ossos e fragmentos de ossos de mamíferos pleistocênicos.

Desse período são as pesquisas de campo: i) do dinamarquês Peter Lund (1801-1880), em Minas Gerais, onde descobriu centenas de espécies de fósseis, ossadas de preguiças gigantes e tatus gigantes e explorou as grutas de Maquiné e de Lagoa Santa; ii) do alemão Fritz Müller (1822-1897) em Santa Catarina, com importantes contribuições para a teoria darwinista; e iii) do inglês Henry Walter Bates (1825-1892), que explorou a Amazônia, com Alfred Russel Wallace, coletou cerca de oito mil espécimes desconhecidas e escreveu *O Naturalista no Rio Amazonas* (1863). Com respeito a essas descobertas, deve-se ressaltar a importância da obra do escocês Charles Lyell (1797-1875) que, ao estabelecer a doutrina do uniformitarismo em seu célebre livro *Princípios de Geologia* (1830-1833), teria uma influência decisiva, até hoje, no pensamento geológico e paleontológico[363].

Em sua viagem no Beagle, de 1831 a 1836, Charles Darwin recolheu um grande número de fósseis, em suas escalas na América do Sul (Brasil, Argentina, Chile e Equador) e na Austrália, que seriam da maior importância para seus futuros estudos e para a formulação da Origem das Espécies por meio da Seleção Natural. Na Patagônia, descobriria restos de vários grandes mamíferos que pareciam datar do fim do Terciário; anotaria a relação estreita entre fósseis de mamíferos e a fauna atual, como entre as preguiças gigantes e as atuais, pequenas, (que vivem nas árvores), e entre os enormes gliptodontes e os tatus. Com base no material recolhido nessa viagem e em estudos posteriores, nos 20 anos seguintes,

363 BUFFETAUT, Eric. *Histoire de la Paléontologie.*

convenceu-se Darwin de não ter sido necessária a ocorrência de grandes catástrofes para explicar, como Cuvier, o desaparecimento das espécies, mas de um mecanismo, simples e especial, de transformação, a que deu o nome de seleção natural.

Na França, Albert Gaudry (1827-1908) publicaria, em 1862, *Os Animais Fósseis do Ártico*, em 1878/90, o *Encadeamento do Mundo Animal*, e, em 1896, o *Ensaio de Paleontologia Filosófica*, nos quais sustentaria a Teoria da Evolução; e Gaston de Saporta (1823-1895) se dedicaria à Paleobotânica, sendo um dos primeiros a defender uma história evolucionista das plantas, em que sustentava a ideia de uma coevolução entre plantas de flores e insetos. Na Suíça, Ludwig Rütimeyer (1825-1895), evolucionista, a partir da obra de Darwin, estudaria a paleontologia dos vertebrados, dando ênfase à pesquisa dos dentes, no que se chamaria odontografia, escreveria um ensaio sobre a filogenia dos cavalos e seria pioneiro, a partir dos fósseis, em Biogeografia, contribuição relevante para os futuros trabalhos comparativos das faunas dos continentes. Na Alemanha, Karl von Zittel (1839-1904), evolucionista, publicou, de 1876 a 1893, seu *Manual de Paleontologia*, que teria grande influência e serviria de modelo para futuros trabalhos, pois, como analisou Depéret,

> não só todos os gêneros fósseis até então descritos pelos paleontólogos de todos os países foram objeto de uma delimitação e diagnose novas, mas também cada grupo é estudado em suas relações de organização anatômicas e zoológicas com as formas representativas do Mundo atual, de maneira a dar a cada tipo fóssil o lugar racional que lhe convém numa classificação geral da série dos seres...[364].

Ainda nesse período, na Alemanha, caberia citar Franz Hilgendorf (1839-1904), que propôs uma árvore filogenética mostrando a evolução das diferentes espécies em função do tempo. O russo Vladimir Kowalevsky (1842-1883), evolucionista, proporia, em 1873, uma reconstituição da história do cavalo, e inauguraria a Paleobiologia, ao procurar encontrar a função desde a estrutura; assim, a inadaptação dos membros resultaria de uma disposição defeituosa da mão, e a dos dentes seria causada pela persistência das coroas baixas. Os paleontólogos austríacos Melchior Neumayr (1845-1890) e Wilhelm Waagen (1841-1900) estudariam a filogenia dos invertebrados. Na Bélgica, o paleontólogo Louis Dollo (1857-1931), além de ter sido o primeiro a fazer a montagem (1884) de um *iguanodon*, provando tratar-se de um bípede, criou o famoso princípio

[364] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

ou lei (1890), segundo a qual uma linhagem especializada numa direção não pode reverter a um estado menos especializado, ou seja, uma grande mudança evolutiva não é reversível.

Na Argentina, Hermann Burmeister (1807-1892), Francisco Moreno (1852-1919) e os irmãos Carlos e Florentino Ameghino (1854-1911) seriam ativos em pesquisas de campo, principalmente na Patagônia, onde foram descobertas espécies de mamíferos terciários sem equivalentes em outros continentes[365]. Nos EUA, com a conquista do oeste, uma vasta área, até então desconhecida, foi sendo desbravada, ao mesmo tempo em que eram descobertas ossadas e fósseis de inúmeras espécies. As pesquisas foram impulsionadas pela rivalidade entre os dois paleontólogos, Othniel Marsh (1831-1899) e Edward Cope (1840-1897). Uma série de artigos, entre 1878 e 1892, seria publicada na *American Journal of Sciences* sobre mamíferos da era secundária, por Marsh, que, em 1880, escreveria volumoso trabalho sobre dois pássaros da era Cretácea, e, em 1884, uma *Memória* sobre os mamíferos *Dinocerata*. Cope era um teórico evolucionista, que tentou uma explicação das transformações dos seres vivos. Escreveu *Revista da Moderna Doutrina da Evolução* (1880), *Sobre a Evolução dos Vertebrata* (1885), *Fatores Primários da Evolução Orgânica* (1896) e *Origem do mais adaptado* (1897).

Apesar da grande contribuição da Paleontologia, com a descoberta de espécies intermediárias no processo evolutivo da flora e da fauna, seu principal apoio seria de ordem histórica, já que os fósseis fornecem muito pouca informação sobre os mecanismos das mudanças ocorridas. A contribuição da Paleontologia se circunscreve, na realidade, a informações sobre o desenvolvimento do processo evolutivo no tempo, ou seja, sobre a duração extremamente longa da transformação biológica. Para tanto, é indispensável o conhecimento do funcionamento dos organismos atuais, pelo que os ramos da Biologia, principalmente a Genética e a Biologia molecular, são utilizados, juntamente com a Paleontologia, na reconstituição do processo evolutivo[366].

6.22.7 Evolução

O ramo da Biologia que trata da Evolução surgiu em 1859, com a publicação do livro *The Origin of Species by means of Natural Selection*, de Charles Darwin. O tema da Evolução biológica é anterior a essa data, mas é com a obra de Darwin que a questão receberia um tratamento científico e sistemático, sob um ângulo novo de encarar a evolução dos

[365] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[366] BUFFETAUT, Eric. *Histoire de la Paléontologie.*

seres vivos, totalmente livre de considerações de ordem metafísica. Por conseguinte, não se pode analisar o tema da Evolução no século XIX, desconhecendo suas amplas implicações na Biologia e em outras Ciências ou o considerando como mero desenvolvimento e prosseguimento de teorias, experiências e descobertas passadas.

A teoria darwinista significou uma verdadeira revolução na Biologia, da dimensão, importância e significado da ocorrida nas Ciências físicas, a partir das obras de Copérnico, Galileu e Newton. Como Laplace, que formulara, no início do século XIX, sua teoria cósmica, sem recurso à hipótese de criação divina para o Universo, Darwin, igualmente, explicaria o processo evolutivo dos seres vivos sem apelar para forças sobrenaturais, esclarecendo os fenômenos naturais pela aplicação de metodologia adequada e de conhecimentos de Paleontologia, Anatomia comparada e Embriologia.

Agnóstico confesso[367], livre, portanto, de quaisquer considerações metafísicas, pôde Darwin pesquisar e teorizar sobre o processo da evolução dos seres, apoiando-se exclusivamente em fatos e evidências, sem receio de questionar e de refutar o dogma da criação. Banida, assim, a "verdade revelada" dos seus domínios, a Biologia passaria a se ocupar, em caráter exclusivo, de formulação de leis e princípios gerais, entrando, definitivamente, na etapa científica, atual.

A ideia de progresso e evolução para a História do Homem e da Terra, defendida por pensadores como Leibniz, Kant e Condorcet, teria impacto no campo da História Natural, como comprovam as obras de vários naturalistas e homens de Ciência (Benoit de Maillet em *Telliamed*, de 1735; Maupertuis em *Ensaio sobre a Formação dos Corpos Organizados*, de 1754; Buffon em *Historia Natural*, de 1749-1788; Robinet em *Da Natureza*, em 1766; Diderot em *O Sonho de D'Alembert*; e Erasmus Darwin em *Zoonomia*, de 1794-1796). Apesar da dominante noção de "imutabilidade da obra criada" por ato sobrenatural, aventaram esses pesquisadores ideias esparsas e tópicas sobre possível evolução parcial e limitada, gradual e paulatina, das espécies animal e vegetal no decurso do tempo, sem, contudo, apresentarem suficiente base científica e demonstrável de suas respectivas especulações.

Ainda que no século XVIII tenham sido registrados importantes avanços no conhecimento da Geologia e da Paleontologia, não seriam eles ainda suficientes para oferecer evidências de forma a contribuir na formulação de uma teoria científica que explicasse o fenômeno natural do aparecimento das espécies, sem recurso a uma criação

[367] DARWIN, Charles. *Autobiography.*

como obra divina. Um dos méritos desses pioneiros seria, no entanto, o de questionar a validade do criacionismo, apresentado na Bíblia, como revelação, e sustentado, desde o Renascimento Científico, como a explicação definitiva, ainda que meramente argumentativa, de que as espécies eram tantas quanto as criadas por Deus, não se transformando nunca.

Duas principais teorias evolucionistas ou transformistas foram elaboradas no século XIX: a primeira, de autoria de Lamarck, não foi compreendida e não teve sucesso; a segunda, de Darwin, originou grande polêmica, mas alcançaria reconhecimento da comunidade científica, apesar da oposição de cunho teológico.

6.22.7.1 A Teoria Transformista de Lamarck

Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, cavalheiro de Lamarck (1744-1829), de uma família aristocrática empobrecida, serviu no Exército e participou da Guerra dos Sete Anos, foi promovido a oficial, mas retornou à vida civil, em 1766, devido a problemas de saúde. Estudou Medicina, mas demonstrou interesse pela Botânica. Em 1778, escreveu importante livro, *Flore Française*, e com a ajuda de Buffon foi trabalhar, em 1781, como botânico assistente no Jardim do Rei (Jardim Botânico), tendo, inclusive, viajado nesse ano por outros países europeus como tutor do filho de Buffon. Com a reorganização, em 1793, do Jardim do Rei em Museu Nacional de História Natural, que seria dirigido por 12 professores em 12 diferentes campos científicos, Lamarck seria nomeado professor de Zoologia dos Animais Inferiores (vermes e insetos), aos quais daria, oportunamente, o nome de "invertebrados", assunto que desconhecia por completo. Dedicou-se, então, inteiramente à pesquisa desse novo campo, com importantes contribuições, como a diferenciação entre os aracnídeos de oito patas (aranhas, carrapatos, ácaros e escorpiões) e os insetos que possuem seis, e a classificação dos crustáceos (caranguejos, lagostas, etc.) e dos equinodermas (estrelas-do-mar, ouriços, etc). Resumiu seus trabalhos na volumosa *História Natural dos Invertebrados*, em sete volumes, publicados entre 1815 e 1822[368].

A partir de seus estudos sobre os invertebrados, e da formulação de um sistema natural de classificação (tinha consciência de sua utilidade, mas se convenceria de que eram artificiais, pois todos os seres vivos, animais e plantas, formavam uma série contínua), abandonaria Lamarck o

[368] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

princípio da imutabilidade das espécies, opondo-se, assim, aos principais naturalistas da França, Buffon e Cuvier. Ao assumir corajosamente uma posição radicalmente contrária à defendida pelos naturalistas e pela comunidade científica francesa da época, Lamarck seria vítima de insidiosa campanha, seria criticado e até menosprezado por Cuvier, e perseguido e rejeitado pelas instituições acadêmicas. Pobre, desgostoso, desprestigiado, infeliz em sua vida particular, começou a perder a visão em 1818, ficando completamente cego nos seus últimos 11 anos de vida; seus bens pessoais, livros e coleções de Biologia tiveram que ir a leilão para pagar seu funeral.

O grande valor de sua obra seria reconhecido pelo próprio Darwin, em 1861, como um pioneiro da "evolução", "por chamar a atenção para a probabilidade de que todas as mudanças no Mundo orgânico e inorgânico sejam o resultado de leis, e não de intervenção miraculosa". Como esclareceu Mayr, os chamados precursores da teoria da evolução se limitaram a explicar a origem de novos tipos ou sustentavam teorias sobre o desenvolvimento de potencialidades imanentes de um tipo. Uma verdadeira teoria da evolução deve formular a hipótese e uma transformação gradual de uma espécie em outra, até o infinito... O Homem era o produto final da evolução. Na realidade, a maneira como ele descreveu a via pela qual nosso ancestral antropoide se humanizou é assombrosamente moderno; como a evolução é um processo contínuo, o Homem continuará a evoluir[369].

Seria Lamarck o primeiro a reconhecer que a evolução das espécies estava sujeita a leis, e o primeiro a enunciá-las. Em 1809, publicou *Filosofia Zoológica*, primeira obra de um naturalista com uma revolucionária teoria, porquanto não admitia a evolução segundo um plano divino e pré-estabelecido, e rejeitava o finalismo, que substituía pela teoria da adaptação ao meio e da fixação, pela hereditariedade, das alterações orgânicas e anatômicas provocadas pelo uso e desuso deste ou daquele órgão[370]. Sua obra é a primeira teoria positiva do ser vivo, o que o faz "pai do transformismo"[371]: todos os conhecimentos, escreveu Lamarck, que não forem produtos diretos da observação ou resultantes das deduções obtidas mediante observações, não têm o menor valor, e são completamente ilusórios. O estudo não se deve limitar a distinguir e a classificar as criações da Natureza, mas deve conduzir ao conhecimento dela própria, de suas forças e das leis, segundo as quais ocorrem essas transformações.

---

[369] MAYR, Ernst. *Histoire de la Biologie.*
[370] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[371] COTARDIÈRE, Philippe de la. *Histoire des Sciences.*

Lamarck sustentava que a ideia da estabilidade das espécies era completamente destituída de fundamento, como comprovaria a criação seletiva, e argumentava que o processo evolutivo era de uma complexidade crescente, iniciando-se de organismos simples e rudimentares até chegar à "perfeição" (a Natureza ao produzir em sucessão cada espécie de animal, começando com os menos perfeitos ou mais simples e terminando com os mais perfeitos, complicou gradualmente suas estruturas). Defendia que a evolução não se processava pelo acaso, mas segundo leis; não acreditava na extinção das espécies, mas em sua transformação; aceitava a especiação pela geração espontânea e recorreu ao fator "tempo" (milhões de anos) para justificar a gradual transformação das espécies.

A primeira lei de Lamarck é a de que a necessidade cria os órgãos adequados; o uso frequente e continuado do órgão o fortalece e o desenvolve, o faz crescer e lhe dá uma potência proporcional à duração desse uso, enquanto a constante falta de uso de um órgão o enfraquece gradativamente, diminui progressivamente suas faculdades e termina por fazê-lo desaparecer. Exemplos: o pássaro, por causa da necessidade de buscar alimentos na água, afasta os dedos dos pés para melhor nadar, o que acarretaria o desenvolvimento progressivo da membrana palmar, que, crescendo e ligando esses dedos, dá à ave maior capacidade para se deslocar; o antepassado da girafa, para se alimentar da copa das árvores, por escassez de pasto, teve seu pescoço alongado; e ruminantes, combatendo no cio, às cabeçadas, desenvolveram formações córneas e ósseas, origem dos chifres. Os antepassados das serpentes, por outro lado, dispunham de dois pares de patas, mas ao se habituarem a rastejar e a se esconder no mato, suas patas inúteis se tornaram fracas e desapareceram.

Vale dizer que Darwin reconheceu a importância dos efeitos do uso e desuso dos órgãos ao estudar os "animais domesticados", conforme consta do capítulo V (Leis de Variação) da *Origem das Espécies*: "creio não haver dúvida que o uso nos nossos animais domésticos fortaleceu e aumentou certas partes, e o desuso as diminuiu, e que tais modificações são herdadas... muitos animais possuem estruturas que podem ser melhor explicadas pelos efeitos do desuso..."[372]. Para Lamarck, os animais tinham de estar em harmonia com o meio, pelo que o processo evolutivo se dava pela capacidade de reagir às condições particulares do meio ambiente. Assim, Mayr considera que "a diferença crucial entre os mecanismos de evolução, segundo Darwin e Lamarck, é que, para este último, as mudanças do meio tinham prioridade"[373].

---

[372] DARWIN, Charles. *The Origin of Species.*
[373] MAYR, Ernst. *Histoire de la Biologie.*

A segunda lei de Lamarck é a da hereditariedade; se refere a que todas as mudanças são herdadas. Tudo que a Natureza acrescenta ou suprime nos indivíduos, por influência das circunstâncias e do uso ou desuso de um órgão, é conservado, pela geração, na espécie futura, desde que as variações sejam comuns aos dois sexos da espécie considerada. É a conhecida "herança dos caracteres adquiridos", na qual as modificações somáticas ocorridas num organismo seriam hereditárias. Como escreveu em sua *Filosofia Zoológica*,

> não foram os órgãos, isto é, a natureza e a forma das partes do corpo de cada animal as causas de seus hábitos e de suas faculdades, mas, ao contrário, foram o seu modo de viver e as condições do meio exterior que geraram, com o tempo, a forma de seu corpo, a estrutura de seus órgãos, e suas faculdades[374].

Lamarck é equivocadamente responsabilizado pelo conceito de "herança dos caracteres adquiridos", que, no entanto, era plenamente aceito no século XVIII (Lineu, Buffon), e também no século XIX, inclusive por Darwin[375]. Formulando sua teoria numa época anterior ao conhecimento da teoria celular e das leis da Genética de Mendel e dos avanços na Embriologia, as ideias de Lamarck seriam rejeitadas, inicialmente, pela proposta da transformação gradual das espécies, e, posteriormente, pelo errôneo mecanismo da herança dos caracteres somáticos adquiridos.

Apesar das falhas de sua teoria, devem ser reconhecidas a Lamarck, no entender do já citado Mayr, suas grandes contribuições intelectuais: um evolucionismo autêntico, que derivava os mais complexos organismos dos infusórios e ancestrais dos vermes, um uniformitarismo coerente, a atribuição de uma longa idade para a Terra, sua fidelidade ao gradualismo da evolução, o reconhecimento da importância do comportamento e do meio ambiente, e a coragem de incluir o Homem no processo da evolução.

No período compreendido entre as obras de Lamarck e Darwin (1809 a 1859), apesar de a visão criacionista predominar no meio intelectual (Lyell, Hooker, Whewell, Owen, Sedwick, na Grã-Bretanha; Cuvier, Flourens, d'Orbigny, na França; Agassiz, na Suíça e EUA; e Kielmeyer, Tidemann, Voight, na Alemanha), não há dúvida de que o pensamento evolucionista emergiu, apoiado num melhor conhecimento dos fósseis, no avanço da Anatomia comparada, da Embriologia e da Teoria celular, e no progresso da Biogeografia científica. Dois autores merecem ser citados, por suas concepções inovadoras, ainda que não tenham suas obras suscitado interesse ou provocado celeuma. O alemão Johann Friedrich Meckel

---

[374] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

[375] MAYR, Ernst. *Histoire de la Biologie.*

(1781-1833) estudou a origem de novas espécies, admitindo quatro possíveis mecanismos: frequência das gerações espontâneas, tendência intrínseca à mudança, efeito direto do meio e hibridação. Em nenhuma parte de seus escritos recorreu Meckel a especulações metafísicas. O botânico austríaco Franz Unger (1800-1870), no *Ensaio sobre a História Mundial das Plantas* (1852), dedicou um capítulo à evolução das plantas, no qual defendia que nas algas, em particular, é que se devia procurar a fonte original de todos os tipos de plantas aparecidas em seguida, e sustentava que se poderia, em teoria, chegar à célula original que teria dado origem à totalidade do Mundo vegetal: "não sabemos nada da existência dessa planta, ou melhor, dessa célula original, e menos ainda da maneira como ela possa ter aparecido. O que é certo, entretanto, é que ela representa a origem de toda a vida orgânica, e, em consequência, de todos os desenvolvimentos ulteriores" (citado por Mayr).

Em 1844, foi publicado, na Inglaterra, um livro que causou grande comoção, por defender teoria totalmente oposta àquela oficialmente aceita pela comunidade científica. Tratava-se de obra intitulada *Vestígios da História Natural da Criação*, de autor desconhecido (a identidade de Robert Chambers só foi revelada em 1871, por ocasião de sua morte), mas que teria 11 edições até 1860. Chambers defenderia o evolucionismo, propondo o "princípio do desenvolvimento progressivo" com base em que a fauna evoluiu ao longo do tempo em todo o Globo, e que as mudanças foram lentas e graduais, sem qualquer relação com cataclismos. Seus argumentos eram: i) as camadas geológicas mais antigas não registram fósseis; segue-se a era dos fósseis invertebrados, depois os peixes vertebrados, depois os répteis ainda sem aves e mamíferos...; ii) na ordem dos animais, a progressão foi dos mais simples aos mais complexos; iii) a Anatomia comparada mostra que há uma unidade fundamental de organização em todos os grandes grupos de animais; e iv) a Embriologia explica os embriões passarem por etapas que lembram espécies aparentadas mais primitivas. Apesar das falhas e inexatidões e falta de suficientes dados comprobatórios, o bom senso dos argumentos não comoveu a comunidade científica inglesa, que reagiu, imediata e fortemente, à heresia evolucionista e se manteve fiel à versão bíblica[376].

6.22.7.2 Charles Darwin

Por seu alto valor científico, por seu caráter inovador e pela formulação do evolucionismo biológico pela seleção natural sobre

[376] MAYR, Ernst. *Histoire de la Biologie.*

as variações aleatórias das características dos indivíduos, a obra de Darwin é um marco na História da Ciência, em geral, e da Biologia, em particular, uma vez que representa a vitória do tratamento estritamente científico dos fenômenos naturais sobre o preconceito, a especulação, a revelação e o sobrenatural.

Charles Robert Darwin (1809-1882) nasceu em Shrewsbury, de uma família de classe média alta, sendo seu avô paterno o conhecido zoólogo Erasmus Darwin, e seu pai, médico, um naturalista amador. Depois de um curso escolar medíocre, em sua cidade natal, e apesar de seu interesse pela Química e pela História Natural, se inscreveu na Faculdade de Medicina de Edimburgo, onde permaneceu de 1825 a 1827. Ao desistir de continuar os estudos médicos, transferiu-se, para agradar a seu pai, para o Christ College, em Cambridge, em 1828, como aluno de Teologia, onde permaneceria até 1831. Nesse período, fez-se amigo do clérigo e botânico John Stevens Henslow (1796-1861), participando assiduamente das suas reuniões regulares sobre temas como Química, Geologia e História Natural. Darwin realizaria, em 1829, uma viagem de pesquisa entomológica no norte do País de Gales com o professor F. W. Hope, e outra viagem, em 1831, de estudo geológico à mesma região com o professor Adam Sedgwick (1785-1873). Quando se preparava para deixar Cambridge, foi recomendado, em meados de 1831, por Henslow, para a posição de naturalista voluntário (sem soldo) do navio Beagle, que zarparia, no final do ano, numa viagem científica de dois anos pela América do Sul[377].

A viagem começou no dia 27 de dezembro de 1831, quando o Beagle levantou âncora no porto de Davenport, durou cinco anos, até 2 de outubro de 1836, e fez escala para as pesquisas de Darwin, entre outros locais, no Brasil (fundeou em Fernando de Noronha, em 20 de fevereiro; em Salvador, permaneceu de 29 de fevereiro a 18 de março; e no Rio de Janeiro, de 4 de abril a 5 de julho); no Uruguai (Montevidéu, Maldonado); na Argentina (Bahia Blanca, Rio Negro, Buenos Aires, Ilhas Malvinas, Patagônia – de 3 de agosto a dezembro –, na Terra do Fogo e Estreito de Magalhães – de dezembro de 1832 a junho de 1833); no Chile (centro, sul, cordilheira – julho de 1833 a junho de 1834); no Peru (costa sul até Callao – junho a setembro de 1834); no Arquipélago de Galápagos (de 15 de setembro de 1834 a outubro de 1835); no Taiti e Nova Zelândia (novembro e dezembro de 1835); na Austrália (Nova Gales do Sul – janeiro de 1836); nas ilhas Keeling e Mauritius, no Oceano Índico (abril e maio); nas ilhas de Ascensão e Santa Helena (julho); no Brasil (Salvador de 1 a 5 de agosto e

[377] BUICAN, Denis. *Darwin e o Darwinismo.*

Pernambuco – Olinda e Recife – de 12 a 19 de agosto); na ilha de Cabo Verde (setembro); e chegada na Inglaterra, a 2 de outubro de 1836[378].

Nesses cinco anos de viagem, Darwin estudou a fauna, a flora e a geologia das regiões visitadas, coletou um grande número de espécimes e fósseis, conheceu a floresta tropical no Brasil e os corais no Oceano Índico, constatou a diversidade das ilhas Galápagos e o parentesco dos povoamentos da América do Sul e das ilhas próximas do continente, notou o parentesco de mamíferos desdentados vivos com os das espécies extintas do pampa, observou os efeitos do terremoto (Chile) no levantamento do nível da terra e estabeleceu contato com as populações nativas.

Além dessas pesquisas e observações *in loco*, leu Darwin os dois volumes do recém-publicado (1831) *Princípios de Geologia*, de Charles Lyell (1797-1875), no qual expôs a teoria do uniformitarismo, sobre os efeitos contínuos e cumulativos de terremotos, erupções e erosão sobre a superfície da Terra. Tais distúrbios, observáveis atualmente, teriam ocorrido, igualmente, no passado distante. Nessa obra, Lyell utilizou-se da distribuição geográfica das plantas e dos animais para sustentar que cada espécie crescera num centro particular, de onde se espalhara, e que antes de sua extinção, a espécie era substituída por outra, num processo constante, sem explicar, contudo, o mecanismo de "desenvolvimento" de novas espécies[379].

Ao embarcar no Beagle, em 1831, Darwin era um adepto do criacionismo e da imutabilidade das espécies, como todos os demais naturalistas da época. Conforme estudava os fósseis, pesquisava a fauna e a flora, comparava a distribuição geográfica das espécies, constatava as semelhanças e diferenças entre as espécies e examinava as formações geológicas, Darwin lia com interesse e atenção o livro de Lyell (antievolucionista), concluindo, ainda antes do término da viagem, que as espécies realmente sofreram transformações graduais ao longo do tempo.

Suas pesquisas em Galápagos seriam essenciais na mudança de sua concepção sobre as espécies. No início da expedição, o padrão de vida organizada observado na América do Sul, caracterizado pela continuidade, com as variações coincidindo com as alterações graduais no ambiente, confirmava as teses, entre outros, de Buffon e Lamarck, de que deveria haver algum mecanismo no próprio ambiente capaz de transformar uma única população original em dezenas de espécies diferentes. Em Galápagos, descobriria, no entanto, que, apesar de cada ilha possuir um micro ambiente constante e estar sujeita às mesmas influências físicas, cada

[378] DARWIN, Charles. *The Voyage of the Beagle.*
[379] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

ilha teria fauna e flora diferençadas, como verificou, por exemplo, com as tartarugas, os tentilhões, as aves e as plantas[380]. Intrigado pelo que viu, e convencido de que as ideias até então apresentadas não correspondiam à realidade observada, começaria, após seu retorno a Londres, a refletir sobre o mecanismo capaz de produzir as modificações das variedades e das espécies no processo da evolução[381].

Em seu regresso, passaria curta temporada em Cambridge na casa de Henslow, que guardaria sua coleção. Instalou-se Darwin, na primavera de 1837, num apartamento em Londres. Em fevereiro de 1838, foi nomeado secretário da Sociedade Geológica de Londres, e, em outubro, leu o *Ensaio sobre o princípio da população* (1798), de Thomas Malthus (1766-1834), que muito o influenciaria, particularmente a afirmação de que a população de seres vivos cresce numa progressão maior que a da quantidade disponível de alimentos, pelo que, a menos que haja um controle artificial, a população tenderá sempre a exceder o suprimento de alimento. Malthus sustentaria, então, a inevitabilidade da competição pela sobrevivência, da luta pela existência. Darwin diria, mais tarde, ter-lhe ocorrido que as variações tendiam a ser preservadas e as desfavoráveis a ser destruídas, com o resultante estabelecimento de novas espécies.

Em 29 de janeiro de 1839, Darwin casou-se com sua prima, Emma Wedgwood. Nesse ano, publicaria seu relato da viagem sob o título inicial de *Viagem de um naturalista no Beagle*, começaria a trabalhar sobre a formação de corais e a organizar sua vasta coleção de material colhido durante a viagem. Em 1842, publicaria *Os Recifes de Coral, sua Estrutura e sua Distribuição*.

Nesse período em Londres, e ao longo de sua vida, não limitaria suas leituras às obras de grandes naturalistas (Lyell ou Candolle), mas procuraria ampliar seus conhecimentos de forma a ter uma visão global, familiarizando-se, além das ideias de Malthus, com o evolucionismo de Turgot e Condorcet, as noções do economista Adam Smith e os conceitos de Filosofia positiva de Augusto Comte. Esses anos seriam decisivos para a sua formação filosófica e intelectual. Como explicou Mayr, a passagem de uma atitude criacionista para uma evolucionista requereu uma reorientação conceitual e ideológica, sendo impossível a um "fundamentalista" desenvolver uma teoria da evolução. De leitor assíduo do *Paraíso Perdido*, de Milton, de *Teologia Natural*, do teólogo William Paley (1743-1805), e de um "ortodoxo", durante a viagem do Beagle, Darwin se tornaria, logo, um cético, um agnóstico confesso. Pouco depois de casado,

[380] HORVITZ, Leslie Alan. *Eureca.*
[381] BUICAN, Denis. *Darwin e o Darwinismo.*

recebeu de sua esposa carta na qual expressava sua preocupação pelo ceticismo do marido:

> Possa esse hábito científico de em nada acreditar que não tenha sido provado, não influenciar demasiadamente seu espírito em outras matérias, aquelas que não podem ser provadas da mesma maneira, e que, se são verdadeiras, estão provavelmente além de nossa compreensão. Quero também dizer que há um perigo em abandonar a revelação...[382].

Mais tarde, Darwin escreveria que seu pai lhe havia aconselhado, antes do casamento, a esconder cuidadosamente suas dúvidas. Em sua obra *Variação de Animais e Plantas sob Domesticação*, de 1868, declararia Darwin que a opção era entre crer na seleção natural ou "num criador onipotente e onisciente que ordena e prevê tudo"[383].

De saúde comprometida com a doença de Chagas, contraída durante a viagem, Darwin se mudaria, em 1842, de Londres para Down, no condado de Kent, onde viveria em confortável casa em grande terreno, dedicando-se totalmente ao estudo das amostras coletadas em sua expedição e do material que constantemente recebia do exterior. Após mais dois trabalhos geológicos: *Observações geológicas sobre as ilhas vulcânicas* (1844) e *Observações geológicas sobre a América do Sul* (1846), Darwin passaria a uma pesquisa minuciosa, de oito anos, de um grupo de crustáceos marinhos, os cirrípedes, sobre a qual publicaria obra em dois volumes em 1854.

6.22.7.2.1 Origem das Espécies por Meio da Seleção Natural

Em 1837, segundo o próprio Darwin, começou a estudar os fósseis e os espécimes de sua coleção, e a refletir sobre a variação dos animais e das plantas na Natureza e na domesticidade, mas ainda sem nenhuma teoria. Se bem que sua constatação, como escreveu, das afinidades mútuas dos seres orgânicos, suas relações embriológicas, sua distribuição geográfica e sucessão geológica, e outros fatos lhe tenham levado à conclusão de que as espécies não haviam sido formadas independentemente, mas haviam descendido, como variedades, de outras espécies, Darwin considerava indispensável poder demonstrar como as inumeráveis espécies foram modificadas gradualmente ao longo do tempo.

---

[382] BUICAN, Denis. *Darwin e o Darwinismo.*
[383] MAYR, Ernst. *Histoire de la Biologie.*

Nesse sentido, a partir do final de 1838, o mecanismo regulador do processo evolutivo das espécies, capaz de demonstrar como as modificações ocorreram, adquiriu a maior importância. Refletindo, nos anos seguintes, sobre os escritos de Lyell e Malthus, aplicaria Darwin as ideias sobre a luta pela existência como determinante das variações (mutações) – se desfavoráveis seriam destruídas, se favoráveis seriam preservadas – das espécies. Como escreveu Darwin, "finalmente tinha uma teoria com a qual trabalhar". Não era o ambiente que produzia variantes favoráveis que passavam a gerações por "hereditariedade de caracteres somáticos adquiridos" (Lamarck), mas as espécies que desenvolviam traços que permitiam a sua sobrevivência num ambiente particular teriam maior chance de predominar numa população do que aquelas sem traços favoráveis[384]. A adaptação era, pois, crucial, porquanto determinaria quem iria evoluir e quem iria desaparecer. Os indivíduos com traços favoráveis teriam vantagem sobre seus competidores, teriam maior capacidade de adaptação ao ambiente, e teriam condições de produzir prole com traços favoráveis. Importante salientar que a transmissão genética dos traços foi intuída por Darwin, já que as Leis de Mendel só vieram a ser conhecidas a partir de 1900.

De acordo com Lyell, a vida orgânica consistia em espécies, e se há uma evolução, as espécies deviam ser seu agente. Assim, o problema da evolução teria de ser resolvido pelo estudo de espécies concretas, de sua aparição e desaparecimento, duas faces da mesma medalha. Para Lyell, antievolucionista, tratava-se simplesmente de tipos que nasciam e desapareciam. Darwin (e Wallace) compreenderia que a evolução de uma nova população de uma espécie era um processo diferente de extinção dos últimos sobreviventes de uma espécie em extinção[385].

Nesse contexto, ganha especial relevância o moderno conceito biológico de espécie, introduzido por Darwin, que passaria a ser entendida como "uma comunidade reprodutiva de populações (reprodutivamente isoladas de outras comunidades) que ocupa um 'nicho' particular na Natureza", ou seja, um conjunto de organismos que se cruzam entre si, mas que estão sexualmente isolados de grupos semelhantes, como sugere Mayr. Assim, a antiga conceituação da espécie como um conjunto de indivíduos semelhantes, na base de meras considerações de ordem morfológica, seria definitivamente afastada pela Biologia.

A elaboração da *Origem das Espécies por meio da Seleção Natural* demorou cerca de 20 anos, tendo sido introduzidas, nas diversas edições,

[384] HORVITZ, Leslie Alan. *Eureca.*
[385] MAYR, Ernst. *Histoire de la Biologie.*

várias alterações no texto. A escolha do título refletiu a importância fundamental que o autor dava à transformação de uma espécie em outra no processo evolutivo, ao mesmo tempo em que rechaçava, aberta e totalmente, o conceito da imutabilidade (fixismo). A busca de novos argumentos e provas retardava o término da obra, que se encontrava apenas parcialmente redigida em 1858.

Em 1855, foi publicado artigo intitulado *Da Lei que regeu a Introdução das Novas Espécies*, do naturalista Alfred Russel Wallace (1823-1913), no qual sustentava a tese da evolução das espécies, sem apresentar, contudo, mecanismo que explicasse tal processo. Darwin tomou conhecimento do artigo e manifestou ao seu amigo que ele também estava trabalhando no mesmo assunto. Em carta a Wallace, em 1857, Darwin revelaria que evitaria tratar em seu livro da espécie humana, pois o assunto estava cercado de preconceitos. Apesar da insistência de amigos (Lyell, Huxley, Hooker), Darwin não demonstrava nenhuma pressa em terminar o trabalho, interessado em preparar obra extensa e documentada[386]. Em junho de 1858, recebeu carta de Wallace com um artigo intitulado *Sobre a Tendência das Variedades em se afastar indefinidamente do Tipo Original*, que continha, no dizer do próprio Darwin, "exatamente a mesma teoria que a minha". No artigo, Wallace tratava da luta pela sobrevivência, de ritmos de crescimento das populações em relação aos recursos, de mudanças capazes de agir favorável ou desfavoravelmente para a sobrevivência. Wallace rebatia o célebre exemplo de Lamarck: a girafa não tinha o pescoço comprido por esticá-lo para alcançar os galhos mais altos das árvores, mas apenas toda variedade dotada de pescoço longo encontraria suplemento de nutrição, acima dos galhos comidos por outras variedades, que lhe asseguraria a sobrevivência em tempos de escassez. Apesar de certos enfoques, distintos, o trabalho de Wallace se assemelhava bastante ao que estava preparando Darwin, havia cerca de 20 anos.

Por insistência de amigos comuns, o artigo de Wallace, um resumo preparado por Darwin da *Origem das Espécies* e uma carta de Darwin ao botânico americano Asa Gray (1810-1888), de setembro de 1857, foram apresentados à Sociedade Lineana, em julho de 1858, sem que o tema tenha suscitado polêmica ou interesse. Darwin retomaria a redação da obra, terminando-a em março de 1859. A publicação da primeira edição se daria no dia 24 de novembro desse mesmo ano.

Durante esse longo processo de pesquisa e elucubração, várias alterações foram introduzidas pelo autor, como a eliminação no título da palavra "Sobre", passando a obra a ser conhecida como *Origem das*

---

[386] MAYR, Ernst. *Histoire de la Biologie.*

Espécies por meio da Seleção Natural ou A Preservação de Raças Favorecidas na Luta pela Vida, e a supressão de uma citação de Bacon e uma de Whewell, constantes da primeira edição. Foram particularmente importantes a inclusão de um novo capítulo "Objeções Diversas à Teoria da Seleção Natural", em que Darwin comentaria e refutaria as principais críticas, e os acréscimos, as eliminações e as modificações de frases nos 15 capítulos da obra, que inclui, ainda, um prefácio, uma introdução e, ao final, um glossário de termos científicos.

Desde o início, é importante deixar consignado que na *Origem das Espécies* o termo evolução não é empregado nem uma vez, provavelmente com o intuito de evitar as inevitáveis críticas. Apesar de toda a celeuma criada em torno da descendência da espécie humana, a obra não se refere especificamente ao "Homem" (*Homo Sapiens*), tanto que ele não é mencionado em nenhum capítulo substantivo, a não ser no curto antepenúltimo parágrafo do capítulo décimo quinto – "Recapitulação e Conclusão", quando se limitou Darwin a escrever que "no futuro muita luz será lançada sobre a origem do Homem e sua História"[387]. Nesses dois aspectos importantes e polêmicos, Darwin foi, assim, extremamente cauteloso, mas seu intento de contornar uma confrontação com os adeptos do criacionismo fracassaria, pois sua frequente menção a seres e organismos vivos evidenciava a inclusão da espécie humana em sua teoria da evolução.

Na Introdução, Darwin menciona informações adquiridas em sua viagem no Beagle e trata rapidamente das principais questões nos diversos capítulos. O primeiro capítulo é dedicado às variações de espécies domésticas, com explicações das causas desta variabilidade; no segundo capítulo, o autor se refere ao problema da complexidade de definição do conceito de "espécie", critica a definição então corrente "para mim, tem-se aplicado arbitrariamente, por uma questão de comodidade, o termo espécies a certos indivíduos que se assemelham muito e esse termo não difere essencialmente do termo variedade, dado a formas menos distintas e mais variáveis". Na impossibilidade de distinguir entre espécie e variedade, Darwin defenderia, assim, serem as variedades as espécies em transformação; no capítulo terceiro, "Luta pela Sobrevivência", no qual se referiu a Malthus, Lyell e Candolle, explica Darwin empregar este conceito num sentido metafórico, o que implica as relações mútuas de dependência dos seres organizados e "o que é mais importante, não apenas a vida do indivíduo, mas sua atitude e seu sucesso em deixar descendentes"[388]; o capítulo quarto versa sobre o intrincado conceito de seleção natural, que

[387] DARWIN, Charles. *Origem das Espécies.*
[388] DARWIN, Charles. *Origem das Espécies.*

> implica apenas a conservação das variações acidentalmente produzidas quando estas são vantajosas para o indivíduo nas condições de sobrevivência em que se encontra... no sentido literal da palavra, não é duvidoso que o termo seleção natural seja errôneo... é também muito difícil evitar personificar o nome Natureza, mas por Natureza entendo apenas a ação combinada e os resultados complexos de um grande número de leis naturais e, pelas leis, a série de fatos que reconhecemos[389].

Com esses esclarecimentos, Darwin pretendia deixar claro que nenhuma finalidade, nenhuma vontade consciente ou nenhuma força misteriosa dirige o processo de seleção. Este capítulo quarto era, originalmente, apenas "seleção natural", mas posteriormente, incluiria a noção de "a sobrevivência do mais apto", de Herbert Spencer.

Nos capítulos terceiro e quarto Darwin declararia não ter dúvida que o uso reforça e desenvolve algumas partes, enquanto o não uso as diminui e, além disto, que as modificações são hereditárias; nesse particular, seus exemplos da atrofia dos olhos da toupeira e das asas do avestruz são famosos. O efeito do clima, em particular quanto às plantas, é reconhecido, bem como a diferença produzida pelo hábito:

> qualquer que seja a causa determinante das diferenças leves que se produzem entre o descendente e o ascendente, causa que deve existir em cada caso, temos razão para crer que acumulação constante de diferenças vantajosas determinou todas as modificações mais importantes de organização relativamente aos hábitos de cada espécie.

Assim, o clima, o ambiente, o uso ou não uso, e o hábito são acrescentados às causas potenciais das variações, o que significa sua adoção da herança dos caracteres adquiridos e da ação direta do ambiente sobre a constituição hereditária do organismo.

O capítulo quinto, "Leis da Variação", apresenta diagrama em que a extinção e a divergência dos caracteres estão representadas, tratando-se de uma esquematização teórica da descendência com modificações das espécies durante longos períodos de tempo. No capítulo sexto, "Dificuldades da Teoria", Darwin reconhece que "nossa ignorância sobre as leis da variação é muito profunda", conhecimento que só viria com a Genética e a redescoberta das Leis de Mendel. As causas das variações são "devidas ao acaso", sendo aleatórias, por não perseguir nenhum objetivo.

[389] DARWIN, Charles. *Origem das Espécies.*

A seleção intervirá, então, conservando ou eliminando o que, segundo as circunstâncias, será útil ou negativo ao indivíduo e à espécie.

No capítulo sétimo, Darwin expõe algumas das principais objeções à sua teoria, mas rechaça tais críticas com explicações e apresentação de novas evidências. O capítulo oitavo, intitulado "Instinto", procura explicar o significado do "ato realizado por um animal... ou um ato realizado por muitos indivíduos, da mesma maneira, sem que saibam prever sua finalidade", não havendo nenhuma dificuldade em admitir que "a seleção natural possa conservar e acumular constantemente as variações do instinto pelo tempo em que forem proveitosas para o indivíduo"[390]. É a aplicação do mecanismo da seleção natural da evolução ao instinto. O capítulo nono é relativo ao "hibridismo", no qual demonstra que a esterilidade entre espécies ou variedades diferentes é progressiva, mas não clara e absoluta, como se pensava.

Nos capítulos décimo, "Sobre as Imperfeições do Registro Geológico", e décimo primeiro, "Sobre a Sucessão Geológica dos Seres Orgânicos", Darwin se apoiaria em conceituados geólogos para refutar argumentos sobre a formação e evolução geológica do Planeta. Contestaria, também, certos cálculos sobre a idade da Terra, a qual não teria duração suficiente para as mudanças sustentadas na sua teoria (cerca de 24 milhões de anos no cálculo de Lord Kelvin, na base da taxa de resfriamento de um corpo do tamanho do Globo terrestre). Darwin defendia uma idade muito mais longa para a Terra.

O décimo segundo e o décimo terceiro capítulos tratam da distribuição geográfica dos organismos vivos, examinam os problemas da migração e o papel das barreiras geográficas. Mostra Darwin como as espécies podem atingir regiões, modificando-se e adaptando-se às condições locais.

No capítulo décimo quarto, que se intitula "Afinidades Mútuas de Seres Orgânicos: Morfologia, Embriologia e Órgãos Rudimentares", o autor confirmaria a importância das reconstituições genealógicas, já que a comunidade da descendência é a única causa conhecida da semelhança entre os seres vivos. Os caracteres morfológicos e embrionários e dos órgãos rudimentares são, assim, teoricamente justificados, ao se admitir uma classificação natural com base na genealogia.

O décimo quinto capítulo, "Recapitulação e Conclusão", é dedicado à recapitulação e à defesa do caráter científico da obra, na qual adotou, no entendimento geral, o método hipotético-dedutivo.

A *Origem das Espécies* foi editada seis vezes durante a vida de Darwin (1859, com 1230 exemplares; em 1860, com 3 mil; em 1861, com

[390] DARWIN, Charles. *Origem das Espécies.*

2 mil; em 1866, com 1500; em 1869, com 2 mil; e em 1872, com 3 mil exemplares). A obra teve, de imediato, uma grande repercussão nos meios científicos e eclesiásticos, sendo objeto de célebre debate, na Universidade de Oxford, em junho de 1860.

6.22.7.2.2 A Descendência do Homem e a Seleção Sexual

Nos anos 50 e 60, ocorreu na Inglaterra famosa polêmica entre o célebre naturalista Richard Owen (1804-1892) e Thomas Huxley sobre evolução e origem da espécie humana, particularmente após a descoberta (1856) do "Homem de Neandertal" e de vários fósseis humanos. A polêmica sobre se o "Homem de Neandertal" era ou não uma espécie da cadeia evolutiva seria conhecida como a do *hippocampus minor.* Huxley sustentaria que o crânio pertencia a um homem primitivo, muito próximo dos macacos superiores, que com ele conviveram.

Em 1860, Boucher de Perthes (1788-1868) escreveria *O Homem Antediluviano e Suas Obras*, e, em 1863, Lyell publicaria *A Evidência Geológica da Antiguidade do Homem*. Avanços nas pesquisas geológicas e paleontológicas obrigariam os cientistas a repensarem antigos conceitos e velhas tradições em evidente contradição com as descobertas, a partir de meados do século, que mostravam a imensa e complexa série de seres vivos que habitaram o Planeta por muitos milhões de anos.

Na publicação *Do Lugar do Homem na Natureza* (1863), Huxley, apoiando-se em pesquisas de Anatomia comparada, afirmaria que as diferenças entre o Homem e o gorila e o chimpanzé não eram tão grandes quanto as que separam os gorilas dos macacos inferiores. As diferenças de estrutura entre o Homem e os macacos antropomorfos justificariam a separação das famílias, mas não em diferentes ordens. Concluiria Huxley que o Homem pertenceria à mesma ordem (Primata) dos macacos e dos lemurianos. Como escreveria mais tarde Darwin, na *Descendência do Homem*, Huxley demonstrara, de modo decisivo, que, por todos os seus caracteres aparentes, o Homem diferencia-se menos dos macacos superiores do que esses dos símios inferiores, da mesma ordem dos primatas.

Darwin, que já colecionava dados e notas sobre a origem da espécie humana, apesar de não abordá-la, especificamente, na *Origem das Espécies*, se familiarizaria, nos anos 60, com os progressos na Psicologia, em particular quanto à Análise científica da mente, decidindo-se, então, a "publicar um tratado sobre a origem do Homem"[391].

[391] DARWIN, Charles. *Autobiografia.*

A primeira edição de *A Descendência do Homem e a Seleção Sexual* data de 1871, com revisão em 1874. O extenso livro, com uma introdução e 21 capítulos, trata, de forma estritamente científica, da árdua questão, evitada, anteriormente, por Darwin, da origem da espécie humana. A enunciação dos diversos capítulos demonstra a preocupação do autor em abordar todos os pontos relevantes na demonstração de sua teoria.

O primeiro e o segundo capítulos versam sobre a evidência da descendência do Homem de formas inferiores e do modo desse desenvolvimento. Os capítulos terceiro e quarto apresentam comparação do poder mental do Homem e dos animais inferiores. O capítulo quinto se refere ao desenvolvimento das faculdades intelectuais e morais nos tempos primitivos e civilizados. O capítulo sexto trata das afinidades e genealogia do Homem, e o sétimo, das raças do Homem. O capítulo oitavo explica o princípio da seleção sexual. O capítulo nono versa sobre os caracteres sexuais secundários na classe inferior do reino animal. O décimo e o décimo primeiro, sobre os caracteres sexuais secundários dos insetos. O décimo segundo, sobre os caracteres sexuais secundários dos peixes, anfíbios e répteis. E os décimo terceiro ao décimo sexto, sobre os caracteres sexuais secundários dos pássaros. Os capítulos décimo sétimo e décimo oitavo apresentam os caracteres sexuais secundários dos mamíferos. Os capítulos décimo nono e vigésimo, os caracteres sexuais secundários do Homem. E o vigésimo primeiro contém um sumário e conclusões[392].

Confiante de ser possível conhecer a origem da espécie humana, Darwin estabeleceria como objetivo principal da obra determinar se o Homem descende, como as outras espécies, de forma preexistente. Em caso positivo, compreender como ocorreu tal descendência e avaliar as diferenças entre as "raças" humanas. Em seu estudo, fica evidenciada a continuidade entre o Homem e os demais animais, no que se refere às características físicas, intelectuais, morais e sociais. Nesse sentido, aborda Darwin, no contexto da evolução, os "poderes mentais superiores", como curiosidade, atenção, memória, imaginação, razão, abstração, consciência e imitação.

No capítulo sexto, Darwin explica a genealogia do Homem, que, por se desenvolver muito depressa, foi submetido à luta pela sobrevivência e à ação da seleção natural. O Homem gerou raças numerosas, sendo algumas tão diferentes que muitos naturalistas, diz Darwin, pensam tratar-se de espécies distintas: "O corpo humano é construído sobre o mesmo plano homólogo que o dos outros mamíferos, e atravessa as

[392] DARWIN, Charles. *A Descendência do Homem.*

mesmas fases de desenvolvimento embrionário. Conserva muito das conformações rudimentares e inúteis que, sem dúvida, tiveram antes sua utilidade"[393]. Mais adiante, Darwin afirmaria que se a origem do Homem tivesse sido totalmente diferente daquela de todos os demais animais, essas diversas manifestações seriam apenas profundas decepções, e tal hipótese é inadmissível. Afirma, ainda, que "essas manifestações são compreensíveis ao menos em uma larga medida se o Homem é, com outros mamíferos, o co-descendente de algum tipo inferior desconhecido"[394]. Em outra passagem, Darwin chega a afirmar que "devemos concluir, por mais que se sinta ferido nosso orgulho, que nossos ancestrais primitivos teriam, com toda razão, levado o nome de macacos".

Para o estudo da seleção sexual no processo de diferenciação das raças humanas, Darwin dedicaria um capítulo sobre os princípios da seleção sexual (capítulo oitavo) e 12 (do capítulo nono ao vigésimo) sobre os caracteres sexuais secundários expostos, principalmente, pelos machos de diversas espécies (crustáceos, insetos, peixes, anfíbios, répteis, pássaros, mamíferos e Homem). A seleção sexual não depende da luta pela sobrevivência, mas da luta entre os indivíduos de um sexo, geralmente os machos, para se assegurarem da posse do outro sexo. "Essa luta não termina pela morte do vencido, mas pela privação ou pela pequena quantidade de descendentes. A seleção sexual é então menos rigorosa do que a seleção natural". Adicionalmente, caracteres sexuais secundários, como plumagens, canto dos pássaros, exibição de cores e desenho das penas, têm um papel relevante na seleção sexual.

Quanto à diferença entre a mente do Homem e a dos animais inferiores, ela é, para Darwin, apenas de grau e não de gênero.

Essa obra foi escrita com o propósito de reforçar e explicar alguns pontos da teoria da evolução exposta em a *Origem das Espécies*, tendo suscitado, também, críticas de naturalistas, mas sem criar um ambiente de hostilidade e controvérsia, como o de 1860.

6.22.7.3. Período Pós-Darwin

Após Lamarck e Darwin, caberia citar, ainda, contribuições à compreensão do processo evolutivo biológico no século XIX. Dentre essas, o zoólogo Ernst Haeckel (1834-1895), adepto da teoria darwinista e seu grande divulgador na Alemanha, escreveria a *Morfologia Geral dos*

[393] DARWIN, Charles. *A Descendência do Homem.*
[394] DARWIN, Charles. *A Descendência do Homem.*

Organismos (1866) e *Antropogenia* (1874). Em 1879, Walther Fleming (1843-1905) descobriu os cromossomos, pequenos fragmentos em que se divide o filamento existente no núcleo das células.

Em seguida, o zoólogo alemão August Weissman observaria, em 1883 (teoria da continuidade do plasma germinativo), que, formado o ovo, nele se separa o plasma germinal do plasma somático, o primeiro produzindo novas células sexuais, e o segundo, as células formadoras dos outros órgãos, o que vale dizer, a divisão do organismo pluricelular em "soma" e "germe", sendo um completamente independente do outro. Weissman refutaria o postulado da hereditariedade dos caracteres adquiridos, aceita por todos os naturalistas do século XIX (inclusive Lamarck e Darwin), comprovando que os caracteres genéticos, ou hereditários, se transmitem ao longo das gerações independentemente dos somas individuais[395], ou seja, toda variação é provocada por uma causa interna no germe, enquanto as modificações somáticas não têm valor evolutivo. Um órgão nocivo é eliminado pela seleção, mas um órgão inútil se mantém porque, neste caso, a seleção não atua. Weissmann é o iniciador do chamado "neodarwinismo".

O botânico holandês Hugo de Vries (1848-1935), iniciador do estudo experimental da evolução orgânica, e um dos descobridores da obra de Gregor Mendel, formularia, no final dos anos 90 e nos primeiros anos do século XX, sua teoria da mutação biológica, a qual ajudaria a compreender conceitos ambíguos da natureza das mutações nas espécies[396]. Outros trabalhos sobre o gradualismo e a mudança brusca na evolução seriam preparados nessa época, a exemplo do *Material para o Estudo da Variação em especial quanto à Descontinuidade na Origem das Espécies*, de 1894, do inglês William Bateson (1861-1926), e o *Heterogênese e Evolução, Teoria da Formação das Espécies*, de 1899, do botânico russo Sergei Korginski (1860-1900)[397].

A Teoria da Origem das Espécies, inclusive a humana, de Darwin, gerou o grande debate científico do século XIX. Ainda que o evolucionismo biológico tenha tido generalizado apoio da comunidade intelectual da época, alguns aspectos da teoria darwinista eram contestados por naturalistas e biólogos, o que levaria, à medida que avançavam as pesquisas, principalmente a partir da descoberta das leis da Genética, a um reexame da Teoria.

O tema permaneceria, assim, bastante atual no século XX, provocando forte reação da comunidade religiosa, que continuaria a

[395] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[396] TATON, René. *La Science Contemporaine.*
[397] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

sustentar a criação divina das espécies e sua consequente imutabilidade ao longo dos tempos.

6.22.8 Genética

A Genética é o ramo da Biologia que se ocupa dos fenômenos da hereditariedade e variação dos seres vivos. O termo foi criado em 1906, pelo geneticista inglês William Bateson (1861-1926), professor em Cambridge, para se referir a este novo ramo surgido a partir da obra de Mendel. Ainda que tenha havido experiências anteriores, como as dos botânicos Kolreuter, Gartner, Wichura e Naudin, o caráter científico da Genética é devido aos trabalhos do monge austríaco. Mendel seria o primeiro a demonstrar a existência de um mecanismo na transmissão de caracteres de um indivíduo à progênie, concluindo pela existência de princípios e relações constantes, ou seja, seria pioneiro ao estabelecer leis para explicar a variedade entre as plantas.

Os trabalhos de botânicos que o antecederam pecaram por falta de metodologia e pela insuficiência e limitação dos experimentos. Ao estudarem como unidade o complexo total dos caracteres de um organismo, ao restringirem os estudos a um limitado número de indivíduos e ao desprezarem a matematização para suas análises, não teriam condições, os pesquisadores anteriores a Mendel, de estabelecer as bases científicas da Genética. A importância da obra de Mendel reside, assim, na aplicação de metodologia científica na pesquisa de um problema que desafiava os cientistas havia séculos. Calcula-se que Mendel tenha analisado mais de 28 mil plantas de ervilhas e cerca de 300 mil sementes, cultivando diversas variedades de híbridos de ervilha (*Pisum sativum*) no exíguo jardim (7 m de largura X 25 m de comprimento) do mosteiro, em Brno (Morávia na República Checa).

A imensa contribuição do pai da Genética à Ciência equivale, para muitos estudiosos, à de Newton à Física. Outros a consideram um dos triunfos da mente humana, outros ainda, avaliam a elaboração das leis genéticas um ato de suprema criatividade, ou, então, sua descoberta como uma das mais brilhantes de toda a História das Ciências, ou uma das obras-primas da mente humana. O significado e o impacto da obra de Mendel só teriam, contudo, repercussão, a partir do início do século XX, vindo a Genética a se tornar, então, um dos mais importantes e dinâmicos ramos da Biologia, além de crescente influência nas áreas da Fisiologia, Evolução, Bioquímica, Medicina, Agricultura e Ciências Sociais, entre outras.

Interessante notar que as pesquisas usualmente mencionadas[398] se deveram a botânicos, agricultores, floricultores e horticultores[399], todos vinculados, de alguma maneira, ao reino vegetal. Josef Kolreuter (1733-1806), Christian Conrad Sprengel (1750-1816), Augustin Sageret (1753-1852), Thomas Knight (1759-1837), Karl Friedrich Gärtner (1772-1850), William Herbert (1774-1847), Henri Lecoq (1802-1871), Charles Naudin (1815-1899), Louis de Vilmorin (1816-1860) e Max Ernst Wichura (1817-1866) fizeram experiências com diferentes híbridos de melões, tabaco, petúnia e salgueiro, por exemplo, mas não foram capazes de deduzir qualquer princípio ou generalizar o resultado de seus experimentos. O mesmo pode ser dito a respeito do farmacêutico genebrino Jean Antoine Colladon (1755-1830), que, nos anos 20, fizera experiências com o cruzamento entre camundongos brancos e cinzentos[400]. Mendel, de origem humilde, de família de camponeses, desde cedo trabalhara no campo, adquirira experiência em Agricultura (inclusive em enxertos) e tinha vocação para a Botânica, não sendo estranho, pois, seu interesse em pesquisas no campo do reino vegetal.

Johann (Gregor) Mendel (1822-1884) nasceu na aldeia de Heinzendorf, na Silésia austríaca, hoje Hyncice, na Morávia. Seus pais exploravam uma pequena fazenda, mas estavam submetidos à lei do trabalho obrigatório (corveia), que os obrigava a trabalhar três dias da semana para o proprietário. Após estudos em escola local, ingressou, aos 11 anos, numa escola pia, e posteriormente, no ginásio de Troppau. Sem condições financeiras de prosseguir seus estudos de Filosofia em Ormutz, ingressou, em 1843, como noviço, e ordenou-se padre em 1847, no mosteiro agostiniano de Brno, na Morávia, onde recebeu o nome religioso de Gregor, pelo qual é conhecido. Ensinou literatura alemã, latina e grega, e Matemática, no ginásio de Znaim, e foi suplente na cátedra de Filosofia em Ormutz. Não tendo conseguido aprovação no exame para professor ginasial, foi enviado para a Universidade de Viena (1851/53), onde estudou Matemática, Física, Química, Zoologia e Botânica. De volta a Brno (1854), lecionaria História Natural, por 14 anos, sempre como suplente, na recém-criada escola provincial. Iniciaria, nessa época, seus estudos sobre hibridação das variedades de vegetais, além de se dedicar à Apicultura e à Meteorologia. Em 1866, seu célebre artigo *Investigações sobre Plantas Híbridas* foi publicado nos anais da revista da Sociedade de Ciência Natural de Brno. Eleito superior (abade) do mosteiro, em 1868, deixou Mendel de dar aulas na escola local, e não teria mais tempo

398 MENDEL, Gregor. *Investigações sobre Plantas Híbridas*.
399 TATON, René. *La Science Contemporaine.*
400 THÉODORIDÈS, Jean. *Histoire de la Biologie.*

para prosseguir suas pesquisas sobre fertilidade, pois seu importante cargo lhe exigia total dedicação, dada a disputa com o governo austríaco sobre a taxação do mosteiro. Mendel faleceu em Brno, em 6 de janeiro de 1884, sem ter recebido de seus contemporâneos o reconhecimento do imenso valor de sua obra científica[401].

Seguindo sua vocação e experiência, Mendel se dedicaria à Botânica, em particular à questão de entender o fenômeno da hibridação, já conhecido e utilizado empiricamente, por meio do processo de seleção, pelos criadores de animais e produtores de sementes. A hibridação da ervilha, vegetal hermafrodita (os polens e os óvulos se encontram na mesma planta), já era conhecida dos agrônomos.

Várias razões explicam o sucesso de suas pesquisas: i) ter trabalhado com plantas (ervilhas) que apresentam características distintas, mas não muito diferentes entre si, e podiam ser facilmente reunidas em grupos bem definidos; ii) ter cruzado variedades, e não espécies distintas; iii) a rapidez com que as ervilhas se reproduzem, obtendo, assim, grande quantidade de descendentes; iv) o mecanismo de autofecundação das ervilhas; v) grande quantidade de dados coletados; e vi) utilização da estatística para análise dos resultados, avaliando a incidência das diversas características dos ascendentes nas gerações sucessivas.

Os resultados de suas pesquisas foram apresentados em duas conferências na Sociedade de História Natural de Brno, nos dias 8 de fevereiro e 8 de março de 1865. Há controvérsia sobre o público presente e a repercussão local do evento cultural. O texto das duas conferências, com o título de *Investigações sobre Plantas Híbridas*, seria publicado pela Sociedade em 1866, em seu *Relatório dos Trabalhos* para aquele ano.

Nos oito anos de pesquisa, Mendel cruzou e produziu híbridos de ervilhas com características diferentes, como plantas altas com plantas anãs e ervilhas amarelas com ervilhas verdes, e utilizou sementes lisas e enrugadas. Observaria Mendel que essas características se mantinham na prole, ou seja, não ocorria a "média" como se supunha: ervilhas amarelas cruzadas com ervilhas verdes produziam ervilhas amarelas e não ervilhas verde-amareladas, e a descendência de uma planta alta e de uma anã era sempre alta, e não de tamanho médio. Descobriria, igualmente, que no cruzamento de híbridos altos a geração seguinte retinha as características das plantas "avós": a maioria era alta, porém cerca de 25% era anã, como a terceira geração de plantas do cruzamento amarelo/verde era 75% amarelas e 25% verdes. Dessas pesquisas, deduziria Mendel a matemática desse fenômeno e as correspondentes leis.

---

[401] GRIBBIN, John. *Science, a History*.

O texto está dividido em 11 seções, sendo a primeira intitulada "Observações Introdutórias", seguindo-se, em ordem, "Seleção de Plantas Experimentais", "Divisão e Arranjo das Experiências", "Formas dos Híbridos", "A Primeira Geração de Híbridos", "A Segunda Geração de Híbridos", "As Subsequentes Gerações de Híbridos", "A Descendência dos Híbridos na qual diversos caracteres diferenciais estão associados", "As Células Reprodutivas dos Híbridos", "Experimentos com Híbridos de outras Espécies de Plantas" e "Observações Finais"[402].

Nas "Observações Introdutórias", Mendel explica que experiências em fertilização artificial, particularmente em plantas ornamentais, levaram às experiências que seriam examinadas a seguir, e continua: "A notável regularidade com que reapareciam as mesmas formas híbridas, sempre que a fecundação ocorria com as mesmas espécies, deu a ideia de novas experiências, cuja finalidade seria seguir os híbridos em sua progênie". Após mencionar alguns pesquisadores, como Kolreuter, Gärtner, Herbert, Lecoq e Wichura, apresenta Mendel um balanço crítico e anuncia seu programa de trabalho:

> Até agora, nenhuma lei de aplicação geral governando a formação e o desenvolvimento dos híbridos foi formulada com êxito, o que não surpreende aqueles familiarizados com a extensão da tarefa e as dificuldades dos experimentos. Uma decisão final só pode ser alcançada quando tivermos diante de nós os resultados de experimentos detalhados de plantas de diversas ordens.

Assim,

> aqueles que observarem o trabalho realizado nesse domínio, chegarão à convicção que, entre todos os numerosos ensaios, não há nenhum que tenha sido executado com bastante amplitude e método para permitir fixar o número das diferentes formas sob as quais aparecem os descendentes dos híbridos e classificar estas formas com segurança em cada geração e estabelecer as relações numéricas existentes entre estas formas. É preciso, com efeito, ter certa coragem para empreender um trabalho tão considerável. Só ele, contudo, parece capaz de conduzir finalmente à resolução de uma questão cuja importância para a história da evolução dos seres organizados não pode ser superestimada[403].

Finaliza, Mendel, suas "Observações Introdutórias" esclarecendo que o documento registra seu experimento detalhado de um pequeno grupo de plantas, e terminado em suas partes essenciais após oito anos de trabalho.

[402] MENDEL, Gregor. *Investigações sobre Plantas Híbridas.*
[403] MENDEL, Gregor. *Investigações sobre Plantas Híbridas.*

Na segunda seção (Seleção de Plantas Experimentais), Mendel apresentaria as condições para experiência de hibridação, que deveriam ser: as plantas possuírem caracteres diferenciais constantes; seus híbridos, durante a floração, deveriam estar a salvo de qualquer intervenção de pólen estranho; e os híbridos e seus descendentes não deveriam experimentar qualquer alteração notável de fertilidade na sequência das gerações[404]. Experiências com diversas espécies de leguminosas indicaram ser o gênero *Pisum* o mais apropriado, por hermafrodita, para os propósitos das pesquisas, pois poderia dispor Mendel de "raça pura", ou seja, de elementos masculinos e femininos sempre provenientes da mesma planta.

Os sete caracteres diferenciais relativos ao aspecto das sementes, redondas ou enrugadas, à forma das vagens e à posição das flores até o comprimento dos caules, adotados para a escolha das plantas, estão explicados na terceira seção, que indica, igualmente, ter unido cada dois caracteres diferenciais por fertilização cruzada ou autofecundação.

Nas seções seguintes, Mendel explicaria os resultados de suas experiências com as ervilhas, sendo o cruzamento obtido pela destruição dos estames não amadurecidos (e com eles os gametas masculinos) e sua substituição, na fertilização, pelo pólen de outro tipo de ervilha. As características que se manifestavam na primeira geração receberam o nome de "dominantes" por Mendel, enquanto as que permaneciam latentes nos híbridos, já que poderiam aparecer em alguns dos seus descendentes, foram denominadas de "recessivas". As formas que manifestam o caráter recessivo permanecem constantes para esse caráter nas suas descendências, porém as que manifestam o caráter dominante se dividem em dois grupos, um no qual dois terços se comportam como híbridos (e nos seus descendentes na proporção de 3:1), e outro, em que o terço restante dá descendentes em que o caráter dominante permanece constante.

Na primeira geração, Mendel obteve de 253 híbridos um total de 7325 sementes, sendo 5747 de ervilhas lisas e 1850 de enrugadas, numa relação de 2,96:1; e de 258 plantas, um total de 8023 sementes, das quais 6022 amarelas e 2001 verdes, numa relação de 3,01:1. Para a segunda geração de híbridos, Mendel relata que, de 565 plantas provenientes de sementes de primeira geração, 193 deram sementes redondas, e 372, lisas e enrugadas, na proporção de 3:1; e que de 519 plantas criadas de sementes amarelas de primeira geração, 166 deram exclusivamente sementes amarelas, e 353, amarelas e verdes, na proporção 3:1. Na seção relativa à descendência dos híbridos, Mendel apresenta o resultado do cruzamento de indivíduos de sementes lisas

[404] SERRES, Michel (dir.). *Elementos para uma História das Ciências.*

e amarelas com indivíduos de sementes enrugadas e verdes, num total de 556 sementes de 15 plantas, distribuídas em 315 lisas e amarelas, 191 enrugadas e amarelas, 108 lisas e verdes e 32 enrugadas e verdes e "mostra como todos estes números correspondem praticamente aos efetivos teóricos que as fórmulas de combinação dos caracteres permitem calcular"[405].

Na base de suas pesquisas apoiadas em estatística, mas ainda sem conhecimento da existência de cromossomos e genes, Mendel seria capaz de deduzir suas "Leis da Hereditariedade", cujo princípio é que, na célula reprodutora do híbrido, metade transmite uma unidade e metade outra unidade (genes). Compreendeu Mendel que as plantas, como os mamíferos, têm dois "pais", cada um contribuindo com suas características (alta ou anã, verde ou amarela) para as gerações subsequentes. Assim, embora a característica de tamanho anão possa desaparecer na segunda geração, ela vai reaparecer em alguns indivíduos da terceira, o que significa que os híbridos altos da segunda geração devem conter "instruções" para produzir indivíduos pequenos. Tais instruções viriam em pares, um par de cada pai, e um elemento do par é passado para cada rebento da terceira geração.

Esse fenômeno é explicado pela primeira Lei, conhecida como "Lei da Segregação", pois as características herdadas são passadas igualmente por cada um dos pais, e, em vez de se misturarem, se mantêm separadas ou segregadas, cada uma com suas características, geradas por um par de instruções (dominantes e recessivas), sendo as primeiras responsáveis pela aparência da prole, e as recessivas mantidas latentes, aparecendo somente quando ambos os fatores (genes) num par são recessivos, ou, em outras palavras, a Lei corresponde à separação dos genes[406]. Essa dissociação das características diferentes nas gerações seguintes segue proporções fixas (25% de dominantes puros, 25% de recessivos puros e 50% de dominantes híbridos).

Concluiria ainda Mendel que a contribuição de cada pai com um fator (genes) é governada pelas leis das Probabilidades, pelas quais os fatores dominantes não têm maior probabilidade de serem passados adiante do que os recessivos, ou seja, as características herdadas são também independentes (instruções para altura não têm nada a ver com instruções para cor), ou, em outros termos, no cruzamento de variedades com mais de um caráter diferente, cada característica se transmite independentemente dos demais. Esse fenômeno está regulado pela segunda Lei de Mendel, ou "Lei da Variação Independente" ou "da Separação Casual"[407].

[405] SERRES, Michel (dir.). *Elementos para uma História das Ciências.*
[406] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*
[407] SERRES, Michel (dir.). *Elementos para uma História das Ciências.*

Com essas duas leis, Mendel explicou o mecanismo básico da hereditariedade, com as funções dos fatores, renomeados "genes", o que viria a permitir, no século XX, modificação na teoria da evolução para contemplar "mutação súbita", com a herança genética das características, e "variação genética natural" pela recombinação dos genes, sempre que, em ambos os casos, as mudanças sejam favoráveis à sobrevivência.

Mantinha Mendel correspondência com o botânico suíço Karl Wilhelm von Nageli, que reagiu negativamente ao trabalho, sem ter percebido, aparentemente, o valor dessas pesquisas, sugerindo a hibridação de uma flor selvagem, o *Hieracium*. Mendel acatou tal sugestão e começou a pesquisar o processo da hereditariedade da flor, apresentando uma *Memória*, intitulada *Sobre Alguns Híbridos de Hieracium obtidos por Fecundação Artificial*, à Sociedade de História Natural de Brno, lida em 9 de julho de 1869, e publicada pela Sociedade em 1870. O trabalho de Mendel seria inconclusivo, dadas as características da flor, que apresenta um grande número de espécies vizinhas, tornando a hibridação impossível ou efêmera.

Além desses dois artigos sobre hereditariedade, Mendel escreveu, ainda, nove artigos sobre Meteorologia e dois sobre insetos destruidores.

Ao tempo em que August Weissman descobriu os cromossomos como os responsáveis pela transmissão das informações genéticas, o botânico holandês Hugo de Vries (1848-1935) iniciou (1886) experimentos sobre fecundação de plantas, com o registro de algumas particularidades, como altura da planta e cor das flores nas diversas gerações, tendo terminado seu trabalho em 1899, o qual foi objeto de duas publicações, em 1900, uma em francês e outra em alemão, sendo que nesta última reconheceu a precedência e o mérito da obra de Mendel: "Deste e de outros experimentos cheguei à conclusão que a lei da segregação, como descoberta por Mendel para ervilhas, é de aplicação geral no reino vegetal e tem um significado básico para o estudo das unidades das quais o caráter das espécies é formado"[408].

Na Alemanha, o botânico Carl Correns (1864-1933) e, na Áustria, Erich Tschermak (1871-1937), pesquisando independentemente, na mesma linha de de Vries, chegaram às mesmas conclusões, na mesma época, reconhecendo, igualmente, em suas respectivas publicações, de 1900, a precedência de Mendel na descoberta das leis da hereditariedade[409]. Em decorrência dessas publicações, viria a obra de Mendel somente a ser conhecida pela comunidade científica no século XX, quando seria reconhecido, internacionalmente, como o pai da Genética.

---

[408] GRIBBIN, John. *Science, a History.*
[409] TATON, René. *La Science Contemporaine.*

6.23 Sociologia

O estudo sistemático e metódico, em bases científicas, dos fenômenos relativos à Sociedade humana se iniciou na primeira metade do século XIX, a partir da criação de uma nova Ciência, denominada, inicialmente, de Física social, a exemplo da Física terrestre (Mecânica e Química), da Física celeste, da Física orgânica (animal e vegetal), dedicadas, respectivamente, aos fenômenos físicos, químicos, astronômicos e biológicos.

Em 1839, no *Curso de Filosofia Positiva*, Augusto Comte criaria o vocábulo Sociologia para designar a Ciência que estuda, por meio da aplicação de metodologia científica, os fenômenos sociais, sujeitos a leis naturais e invariáveis, definindo-a como o estudo positivo de todas as leis relativas aos fenômenos sociais. Dentre as várias definições mais conhecidas de Sociologia, cabe registrar, ainda, a de Durkheim, como a "ciência do fato social", a de Spencer, como a "ciência da evolução social", e a de Raymond Aron, como o estudo, que pretende ser científico, do social como social, seja no nível elementar das relações pessoais, seja no nível macroscópico de vastos conjuntos, como as classes, as nações, as civilizações, ou as sociedades globais.

A Sociologia se constituiu com os seguintes principais trabalhos e obras específicas de Comte sobre o tema: *Apreciação Sumária do Conjunto do Passado Moderno* (abril de 1820), *Prospecto de Trabalhos Científicos Necessários para Reorganizar a Sociedade* (abril de 1822), *Considerações Filosóficas sobre as Ideias e os Sábios* (novembro-dezembro de 1825), *Considerações sobre o Poder Espiritual* (1825-1826), *Curso de Filosofia Positiva* (1830-1842), *Exposição sobre o Espírito Positivo* (1844) e *Sistema de Política Positiva* (1851-1854).

A despeito da genial obra que representa sua fundação, não é a Sociologia uma construção pessoal, isolada, caprichosa, utópica, imaginativa, divorciada do contexto histórico, resultante de sonhos e devaneios de um filósofo. Ela se insere no quadro geral da evolução do pensamento humano e responde às necessidades da época atual de entender os fenômenos sociais por meio de leis naturais e invariáveis.

Sem retroceder à Antiguidade e à Idade Média, um grande número de filósofos, historiadores, políticos, pensadores, economistas e juristas da época moderna podem ser citados como estudiosos de aspectos específicos e particulares dos problemas sociais de seus respectivos tempos, sem, contudo, poderem ser considerados como sociólogos. O exame, restrito a considerações de ordem filosófica, histórica, legal, política ou econômica, pecava por suas limitações descritivas e analíticas, sem buscar descobrir as leis e os conceitos que regulavam o fato social. Assim, do século XVI,

caberia citar Nicolau Machiavel (1469-1527), autor de *O Príncipe* (1513), Thomas Morus (1478-1536), de *Utopia* (1516), Felipe Melanchton (1497-1560), de *Confissão de Augsburgo*, de 1539; do século XVII, caberia indicar Francisco Suarez (1548-1617), autor de *Tractatus de Legibus ac Deo Legis*, de 1612, Tommaso Campanella (1568-1639), de *Cidade do Sol* (1623), Francis Bacon (1560-1626), do *Nova Atlantis*, de 1624, Hugo Grotius (1583-1645), do *Mare Liberum*, (1609) e do *De Jure Belli* (1625), Thomas Hobbes (1588-1679), do *Leviatã,* de 1650, John Locke (1632-1704), do *Dois Ensaios sobre o Governo Civil,* de 1689; e do século XVIII, caberia mencionar Giambattista Vico (1668-1744), autor da *Nova Ciência*, de 1725-1730, Charles Louis Montesquieu (1689-1755), de *Cartas Persas*, de 1721, do *Espírito das Leis*, de 1748, e de *Considerações sobre as Causas da Grandeza e da Decadência dos Romanos*, de 1734, Jean Le Rond D'Alembert (1717-1783), da *Exposição Preliminar* da Enciclopédia, de 1751, Jean Jacques Rousseau (1712-1778), do *Contrato Social*, (1757), Jacques Turgot (1727-1781), de *Reflexões sobre a Formação da Riqueza*, (1766), Thomas Paine (1731-1809), do *Senso Comum*, de 1776, e de *Direitos do Homem*, de 1791-1792, Immanuel Kant (1721-1804), do *Tratado da Razão Prática*, de 1788 e do *Tratado da Paz Perpétua*, de 1795, Adam Smith (1723-1790), de *A Riqueza das Nações*, (1784), Adam Ferguson (1723-1816), do *Ensaio sobre a História da Sociedade Civil*, Edmund Burke (1729-1797), das *Cartas sobre uma paz regicida*, e do *Pensamentos sobre os assuntos franceses*, Jean Antoine Condorcet (1743-1794), do *Esboço de um Quadro Histórico dos Progressos do Espírito Humano*, de 1794, e Jeremy Bentham (1748-1832).

O impacto das ideias contidas nessas obras foi variado, desde a grande influência, por exemplo, de Bacon, Montesquieu, D'Alembert, Adam Smith e Rousseau, até o reconhecimento tardio de Vico; desde o conservadorismo de Burke, até o reformismo de Saint-Simon; desde a apologia das sociedades primitivas, de Rousseau, até a noção de progresso e aperfeiçoamento social de Condorcet. Defendendo doutrinas opostas, teses contrárias e teorias conflitantes aqueles pensadores de séculos anteriores tiveram o inegável mérito de suscitar questões, denunciar problemas e analisar a Sociedade, antecedentes importantes para a criação da nova Ciência na primeira metade do século XIX.

Para o conhecimento da realidade do Mundo, no caso da realidade social, a tradicional Filosofia, de natureza metafísica, era vigorosamente contestada por Hume, Diderot e Kant, em vista da impossibilidade racional de se conhecer os "primeiros princípios e as causas primeiras". A independência das Ciências naturais – ao se estruturarem com seus métodos próprios e objetivos específicos – da tutela da Filosofia, o que lhes permitira grandes avanços teóricos e práticos, indicava o modelo

para ser seguido em eventual criação de uma Ciência social. A autonomia do campo científico do terreno filosófico era, assim, condição para seu desenvolvimento, livre da pura imaginação e da estéril especulação.

Igualmente, a explicação teológica, baseada em revelação e em crenças no sobrenatural, incapaz de elucidar os fenômenos sociais, que estariam, assim, sujeitos a desígnios misteriosos, já não satisfazia ao racionalismo do século XVIII, que assumiria uma posição anticlerical, laica e de dessacralização das Igrejas e de suas doutrinas. O conflito entre Ciência e Religião, entre o entendimento científico e os dogmas religiosos, com suas visões distintas do Mundo e do Homem, poria em evidência o antagonismo e a incompatibilidade das concepções. A crescente adoção do pensamento laico-científico faria prevalecer, então, o entendimento de que os fenômenos sociais eram naturais e inteligíveis, obra humana e não divina, o que significava a exclusão de intervenção sobrenatural nos fatos sociais, os quais seriam objetos, por conseguinte, de Ciência.

Com as grandes transformações políticas (mudanças de regimes políticos, direitos políticos) e sociais (liberdade de culto, direitos humanos e do cidadão), com os avanços da laicização da Sociedade humana (quebra do controle religioso da educação) e com o desenvolvimento das diversas Ciências e do espírito científico, viria a prevalecer, naturalmente, nos meios intelectuais do século XIX, a convicção de que seria possível desvendar as leis naturais do Mundo social, a exemplo das do Mundo físico, por meio da investigação de seus fenômenos. O estudo dos fenômenos sociais deveria seguir, portanto, o mesmo espírito que norteava o dos fenômenos astronômicos, físicos, químicos e biológicos, na descoberta de suas leis e na formulação de seus preceitos e conceitos.

Ao mesmo tempo, os problemas decorrentes do início da era industrial (urbanização, êxodo rural, crise do setor artesanal, greve, desemprego) evidenciavam uma realidade social para a qual as explicações de ordem religiosa ou filosófica também já não mais satisfaziam, por inadequadas e insuficientes. A crescente percepção de que princípios e regras próprias deveriam regular a dinâmica social levaria, inevitavelmente, à ruptura com a tradicional interpretação das causas determinantes da realidade social e o modo de enfrentar os problemas da Sociedade.

Dessa forma, a Sociologia, como instrumento de análise do fenômeno social, inexistia no período histórico de sociedades relativamente estáveis, que absorviam, quando e se necessário, mudanças, cujos ritmos e níveis não chegavam a ameaçar a ordem estabelecida e não se constituíam em problemas a serem investigados. O poder da unidade de pensamento

frente a um embrionário pensamento científico assegurava a estabilidade da ordem social, que permanecia, assim, incontestada.

O triunfo do Homem como agente da Sociedade, com a consequente eliminação da ideia da sua origem divina, tornaria definitivamente inaceitável, por incongruente, a permanência de ideias e conceitos em bases teológicas, já objeto de contestação desde o século anterior. A rejeição da ideia da imutabilidade da Sociedade, devida à sua suposta origem divina, e a introdução da noção de progresso social, que explicaria seu gradual aperfeiçoamento, constituem o momento definitivo da implantação do exame da Sociedade em bases científicas, com a rejeição de considerações de qualquer outra ordem.

Por outro lado, a nova realidade político-social que surgiu em países da Europa, após as guerras napoleônicas (anarquia, desordem, crise), e as guerras de independência na América (anticolonialismo, regimes constitucionais) evidenciavam o choque entre a emergência de uma cidadania consciente de seus direitos e as velhas instituições, entre as reivindicações de um emergente proletariado urbano e a ordem social vigente. A transparência da questão social, que já não poderia ser deslocada para um segundo plano, se tornaria, no século XIX, um tema e um problema de primeira grandeza que requeriam exame objetivo e tratamento adequado, de curto prazo, sob pena de trazer grave instabilidade, talvez o caos, à velha e tradicional ordem política e social.

Filósofos sociais, reformadores sociais, pensadores e políticos do início do século XIX estudariam as condições prevalecentes na Sociedade e avançariam ideias e exemplos para minorar as condições de vida da classe operária e adequar as instituições à nova realidade. Como os autores dos séculos precedentes, esses intelectuais não tiveram condições de apresentar análises sociológicas dos fenômenos sociais contemporâneos, nem estabelecer as fundações teóricas de uma nova Ciência.

Dentre esses autores, que viriam a ter influência, contudo, no processo de conscientização dos problemas sociais, devem ser citados i) Claude Henri de Saint-Simon (1760-1825), defensor do dever do Estado de planejar e organizar os meios de produção, e da participação de peritos e técnicos na administração estatal, defensor de uma ditadura benevolente, de industriais e cientistas, e crítico do iníquo sistema liberal manipulado por políticos, defensor da Ciência e da Tecnologia como instrumentos para a solução dos problemas mundiais, ao mesmo tempo que sustentava dever a religião guiar a comunidade para melhorar as condições de vida das classes mais pobres. Após sua morte, o movimento "saintsimoniano" adotaria uma posição socialista contrária à propriedade privada, que

deixava de ser sacrossanta, e à transmissão da hereditariedade do poder; ii) o industrial inglês Robert Owen (1771-1858), autor de *Nova Visão da Sociedade* (1813/16), fundador de "cooperativas comunitárias" (que fracassaram) em vários países, e que sustentava que o valor da mercadoria deveria ser fixado de acordo com o tempo despendido na produção, e que deveria ser trocado contra "notas de trabalho", e não pelo dinheiro convencional; iii) Charles Fourier (1772-1837), autor de *Teoria dos Quatro Movimentos* (1808) e do *Novo Mundo Industrial e Societário* (1829), crítico contundente das injustiças e contradições do sistema capitalista, defenderia a noção de "atração" (derivado da Mecânica de Newton) no campo social para melhorar a vida dos assalariados, e esboçou uma Sociedade composta de "falanges", de dois mil indivíduos, em que a atividade humana seria regulada em função da capacidade e da vontade de seus componentes; e iv) Pierre Joseph Proudhon (1809-1865), autor, entre outras obras, de *Que é Propriedade Privada?* (1840), *Da Criação da Ordem na Humanidade* (1843), *Sistema das Contradições Econômicas* (1846), *Filosofia da Miséria* (1846) e *Capacidade das Classes Trabalhadoras* (1863), quando admitiu a luta de classes. Crítico da propriedade privada, é de sua autoria a frase de que "a propriedade privada é um roubo", que seria celebrizada por Marx. Escreveu Proudhon contra a especulação e os especuladores na Bolsa de Valores, defendeu a abolição dos juros e a livre circulação dos valores, e fundou um Banco do Povo, fechado três anos depois por decisão das autoridades.

Apesar do crescente apoio ao tratamento científico dos fenômenos sociais, do reconhecimento generalizado da competência e da capacidade humanas de agir sobre o meio social, e do inegável avanço, ainda que insuficiente e parcial, no exame das condições sociais vigentes, vários autores continuariam a sustentar a doutrina da imutabilidade da Sociedade humana. Os mais importantes e conhecidos defensores dessa doutrina seriam Joseph de Maistre (1754-1821), que escreveu, entre outros livros, *Considerações sobre a França* (1796), *Ensaio sobre o Princípio Gerador das Constituições Políticas e de Outras Instituições Humanas* (1809), *Sobre o Atraso da Justiça Divina na Punição dos Culpados* (1816) e *O Papa* (1819); e Louis de Bonald (1754-1840), autor de *Teoria do Poder Político e Religioso na Sociedade Civil* (1796), *Ensaio Analítico sobre as Leis Naturais da Ordem Social* (1800) e *Demonstração do Princípio Constitutivo das Sociedades* (1827). Tais esparsas e escassas manifestações em favor de uma estrutura social falida não impediriam, no entanto, a gradual imposição do pensamento científico na análise dos fatos sociais, com vistas a atuar sobre suas causas determinantes.

Dessa forma, estavam criadas as condições necessárias e prévias para o surgimento da Ciência sociológica, independente da Filosofia e da Teologia, com seus objetivos e métodos de investigação próprios.

A Ciência da Sociologia representou, assim, o ápice de um processo de rejeição de explicações teológicas e metafísicas para os fenômenos sociais, ao mesmo tempo em que significou o início de aplicação do pensamento positivo no domínio social, como já ocorria em vários campos das outras Ciências. Com a Sociologia, uma nova área de conhecimento se incorporaria ao saber científico.

Comprovação da oportunidade do momento histórico para o estabelecimento de tal base científica foi a aceitação imediata e generalizada, nos meios intelectuais, da Sociologia como Ciência, o que permitiria, já na segunda metade do século, sua estruturação e desenvolvimento numa posição proeminente no quadro do conhecimento enciclopédico humano. Ao contrário da intransigente crítica e objeção teológico-metafísica às teorias científicas que rejeitavam o dogma da criação divina do Homem e do Universo, a fundação da Sociologia, com seus fundamentos científicos e suas inevitáveis consequências doutrinárias, não suscitou polêmica e controvérsia que viessem a impedir seu desenvolvimento na segunda metade do século XIX. A plena adoção, ainda no século XIX, da noção da evolução, ao longo do tempo, da Sociedade e de sua natureza humana, e, em consequência, de estarem os fenômenos sociais sujeitos à investigação científica, atesta, de forma insofismável, o surgimento, no momento histórico adequado, desta nova Ciência. A Sociologia é, assim, um produto da época moderna, cujo advento só foi possível após os avanços nas demais Ciências e o agravamento da crise política e social.

Marco inicial de uma nova etapa da evolução do pensamento humano e palco de revolucionárias transformações nas diversas Ciências, como na Matemática (Geometria não euclidiana, Teoria dos Conjuntos), na Astronomia (Astrofísica, Espectroscopia), na Física (Termodinâmica, Eletromagnetismo), na Química (Química Orgânica, Teoria Atômica, Radioatividade) e na Biologia (Teoria Celular, Evolução, Embriologia), o século XIX ocuparia, assim, posição de relevo na história do desenvolvimento científico, inclusive pela fundação e constituição da Sociologia, campo apropriado e válido para a investigação dos fenômenos sociais e de suas leis reguladoras, autônoma e independente da Filosofia, como as demais Ciências, e não mais subserviente da Teologia.

Apesar de sua recente criação (meados do século XIX), a evolução da Sociologia, nesse curto período de tempo, foi extraordinária, tanto na teoria quanto na metodologia e pesquisa, mas extremamente complexa,

em vista da própria natureza especial da nova Ciência. O envolvimento pessoal do cientista, com sua cultura, suas tradições e seus preconceitos, na análise dos fenômenos e dos fatos sociais é muito mais acentuado e evidente que em outras Ciências. Assim, ainda que desejável, a objetividade alcançada nas outras Ciências dificilmente pode ser transportada para a Ciência social. A proliferação de correntes e Escolas sociológicas atesta esse caráter especial e próprio da Sociologia, o que não ocorre em outros campos científicos. Na impossibilidade de utilizar o método experimental, inadequado no campo social, o sociólogo serve-se, fundamentalmente, da observação sistemática e da narrativa histórica em suas investigações. Nesse sentido, a Sociologia recorre, como outras Ciências (Antropologia, Arqueologia, Geologia, Paleontologia, Evolução), a uma metodologia parcialmente distinta da utilizada pelas Ciências Exatas, o que evidencia a especificidade dos ramos científicos.

O exame do desenvolvimento da Sociologia é limitado ao século XIX, que corresponde a seu ingresso no período científico, apesar de que seria igualmente válido, como em muitos compêndios, estender o período sob análise até os primeiros decênios do século XX, com o intuito de incluir a obra de, pelo menos, dois importantes sociólogos, o alemão Max Weber e o italiano Vilfredo Pareto. Se bem que intelectualmente formados no século XIX, suas contribuições só foram elaboradas e divulgadas no início do século XX, razão por que, para o propósito deste exame, não seria apropriado estudá-los agora.

Com essa limitação temporal às obras de estruturação da nova Ciência e de seu impacto no pensamento sociológico do período, o exame da Sociologia se concentrará, necessariamente, nas importantes obras doutrinárias de Comte, de Karl Marx e de Durkheim. As contribuições significativas de outros autores para o desenvolvimento da Ciência e para o estudo sociológico da Sociedade moderna, e de sua evolução histórica, como as de Spencer, Le Play e Tarde, com suas respectivas Escolas sociológicas, serão, igualmente, objeto de exame.

6.23.1 Fundação e Estruturação da Sociologia

O principal propósito deste capítulo é oferecer as bases e a estrutura da nova Ciência. Cabe, inicialmente, apresentar e explicar a obra de Augusto Comte, fundador da Sociologia, como elaborada na doutrina positivista, pensamento que teria ampla e profunda repercussão nos meios intelectuais da época e influenciaria, inevitavelmente, o futuro desenvolvimento científico. Outro grande pensador social, contemporâneo

de Comte, que merece, igualmente, um extenso exame em separado, pela extraordinária importância intelectual e política de suas obras, é o filósofo-economista-sociólogo alemão Karl Marx, cuja doutrina comunista causaria um grande impacto na Sociedade da época e se transformaria numa das bandeiras revolucionárias da ordem política, social e econômica.

Conflitantes e opostos, os pensamentos de Comte e Marx foram as expressões mais elevadas, de dimensão filosófica, sociológica e econômica, da segunda metade do século XIX, e teriam inequívoca influência nos meios políticos, sociais e científicos, em âmbito universal. Imutabilidade ou não das leis sociais, propriedade privada com função social ou sua definitiva extinção, papel da ordem espiritual e da ordem temporal na Sociedade, reforma social por consenso ou antagonismo e luta de classes, justaposição de instituições de períodos anteriores (teológica e feudal) e de instituições da atual Sociedade, ou contradição e conflito social na Sociedade industrial com a inevitável luta de classes, e evolução histórica pelo modo de pensar (lei dos três estados) ou pela mudança da formação econômica da Sociedade exemplificam a nítida e profunda divergência filosófica e sociológica entre as duas doutrinas.

Dado o reconhecimento geral de que o pensamento desses dois filósofos sociais e sociólogos iria condicionar, de algum modo, todo o desenvolvimento futuro desta nova Ciência, o exame prévio de suas obras é conveniente e adequado.

6.23.1.1 Doutrina Sociológica Positivista

O exame da Doutrina sociológica de Augusto Comte será exposto em quatro partes, de forma a permitir uma apresentação ordenada da obra do filósofo e sociólogo francês.

6.23.1.1.1 Vida e Obra de Augusto Comte

O fundador da Sociologia, Isidore Auguste Marie François Xavier Comte, conhecido como Auguste Comte, nascido em Montpellier, em 19 de janeiro de 1798, e falecido em Paris, em 5 de setembro de 1857, provinha de família pobre, católica e monarquista. Entrou para a Escola Politécnica em 1814, e desde cedo demonstrou aptidão para a Matemática e a Física, dando, inclusive, aulas particulares para financiar seus estudos. Com o fechamento temporário da Escola, regressaria a Montpellier, onde frequentaria

cursos de Medicina e Fisiologia. De regresso a Paris, conheceu, em 1817, o conde Henri de Saint-Simon, filósofo e editor do periódico *Industrie*, e permaneceria alguns anos, até 1824, como seu secretário e principal colaborador, quando desavença intelectual e ideológica os separaria. Em 1825, casou-se com Caroline Massin, proprietária de uma pequena livraria, casamento tumultuado que terminaria com a separação definitiva do casal em 1842. Nesse período inicial de sua vida, colaborou Comte em várias publicações de Saint-Simon (*A Indústria, a Política*, o *Organizador, o Sistema Industrial* e *o Catecismo dos Industriais*)[410]. Seus trabalhos independentes mais representativos dessa época são *Apreciação Sumária sobre o Conjunto do Passado Moderno* (abril de 1820), *Prospecto de Trabalhos Científicos Necessários para Reorganizar a Sociedade* (abril de 1822), *Considerações Filosóficas sobre as Ideias e os Sábios* (novembro-dezembro de 1825) e *Considerações sobre o Poder Espiritual* (1825/26). Nesses pequenos trabalhos, Comte abordaria diversos problemas relacionados com a crise da Sociedade industrial.

Em abril de 1826, iniciou seu Curso de Filosofia positiva, interrompido, logo em seguida, por motivo de uma crise nervosa, que se prolongou até agosto de 1828. O Curso recomeçaria no início de 1829. Em 1830, publicaria o primeiro tomo do *Curso de Filosofia Positiva*, seguido pelos sucessivos tomos em 1835, 1838, 1839, 1840 e 1842. Considerada como uma de suas mais importantes obras, o *Curso* aborda suas grandes concepções, como a lei sociológica dos três estados, a sistematização e a classificação das Ciências, a necessidade da criação da "Física social", a reorganização do método de ensino. Nesse período, fracassariam todas as tentativas de sua indicação para uma cadeira na Escola Politécnica, na Universidade ou no Colégio de França, e para uma posição na Academia de Ciências, tendo conseguido apenas, em 1832, ser designado assistente de "Análise e Mecânica" na Escola, e, em 1837, obtido o posto de examinador externo da mesma Escola. Em 1831, deu início a um curso gratuito de Astronomia, que se prolongou até 1848. Em 1842, se separaria da esposa. Em 1843, escreveria o *Tratado Elementar de Geometria Analítica*, e, em 1844, a *Exposição sobre o Espírito Positivo*, preâmbulo do *Tratado Filosófico de Astronomia Popular*. Na *Exposição*, estudaria Comte os três estados da evolução intelectual da Humanidade: teológico, metafísico e positivo, explicaria os caracteres do espírito positivo, justificaria a fundação da Sociologia e dissertaria sobre o valor moral do positivismo. Com a perda, por motivo político, em vista de seu republicanismo, do cargo de examinador da Escola, passaria Comte a viver do "livre subsídio positivista", enviado por amigos e admiradores, como John Stuart Mill e Émile Littré[411].

---

[410] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[411] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

Em outubro de 1844, conheceria Clotilde de Vaux, que faleceria em abril de 1846. Em 1847, anunciaria a *Religião da Humanidade*, e, em 1848, fundaria a Sociedade Positivista e publicaria *Exposição sobre o Conjunto do Positivismo*, na qual expôs uma "série de visões sistemáticas sobre o positivismo". Em 1851, sua situação financeira se agravaria com a perda da posição de assistente na Escola Politécnica, mas iniciaria a publicação do *Sistema de Política Positiva* ou *Tratado de Sociologia instituindo a Religião da Humanidade*, cujos tomos subsequentes viriam a público em 1852, 1853 e 1854. O tomo primeiro é introdutório à Filosofia e Sociologia positivista; o segundo se refere à Estática social; o terceiro, à Dinâmica Social; e o quarto tomo contém a grande síntese do futuro humano, com um apêndice de trabalhos de Comte dos anos 20. É dessa época (1852) a publicação do *Catecismo Positivista*, exposição sumária da Religião da Humanidade.

O apoio ao golpe de Luiz Napoleão e a criação da Religião da Humanidade causariam um cisma no círculo de seus adeptos, o que não impediria a instalação de missões e centros positivistas em diversos países, bem como influência política e cultural na Holanda, Grã-Bretanha, Suécia, Espanha, Portugal, Brasil, Estados Unidos, México, Venezuela, Argentina e Chile, entre outros.

O pensamento filosófico e científico de Comte foi influenciado por precursores que foram assinalados no prefácio de seu *Catecismo Positivista*, de 1852; "da grande e imortal Escola de Diderot e Hume, que se seguiu à de Bacon, Descartes e Leibniz", escreveu Comte que "me honrarei sempre de descender imediatamente, por intermédio de meu precursor essencial, o eminente Condorcet", complementado por De Maistre, "de quem assimilei todos os princípios essenciais". No campo filosófico, Hume é seu principal precursor, e Kant está a ele ligado acessoriamente; no campo científico, Comte menciona, como seus precursores, Bichat e Gall[412], e no campo da Sociologia, além da obra de Condorcet, reconhece as contribuições de De Maistre e Montesquieu.

6.23.1.1.2 Precursores

No *Curso* (tomo IV), Comte tratou da importância de Montesquieu na análise das questões políticas e sociais, ao compreendê-las sujeitas a leis naturais, conforme a célebre definição de lei, no capítulo primeiro da primeira parte da obra *O Espírito das Leis*: as leis, no significado mais

---

[412] COMTE, Augusto. *Catecismo Positivista.*

amplo, são relações necessárias que derivam da natureza das coisas; e, neste sentido, todos os seres têm suas leis: a divindade possui suas leis, o Mundo material possui suas leis, as inteligências superiores ao Homem possuem suas leis, os animais possuem suas leis, o Homem possui suas leis; os capítulos segundo e terceiro da primeira parte, tratam "das leis da natureza" e "das leis positivas"[413]. Como explica o já citado Aron, Comte veria nessa formulação o princípio do determinismo aplicado aos fenômenos sociais[414].

A noção inovadora de progresso contínuo do espírito humano, uma das bases da Sociologia comtiana, está contida no célebre *Esboço de um Quadro Histórico dos Progressos do Espírito Humano*, escrito em 1794, por Condorcet, na prisão, pouco antes de morrer, no qual contestou a concepção de História de Rousseau em *Discurso sobre a Origem da Desigualdade* e no *Contrato Social*. Condorcet mostraria ser o Homem perfectível, cujo aperfeiçoamento foi definido em dez períodos históricos de desenvolvimento ordenado, apesar das crises, o que demonstrava sua continuidade. Ainda na introdução da obra, Condorcet avançaria a ideia de que "se existe uma Ciência para prever os progressos da espécie humana, para dirigi-los, para acelerá-los, a história dos progressos que a Humanidade já fez deve ser sua base primeira"[415].

A propósito dessas duas importantes influências e da combinação do determinismo de Montesquieu com as etapas do progresso do espírito humano de Condorcet, chegaria Comte, segundo Aron, à sua concepção central: "os fenômenos sociais estão sujeitos a um determinismo rigoroso, que se apresenta sob a forma de um *devenir* inevitável das sociedades humanas, comandado pelos progressos do espírito humano[416].

6.23.1.1.3 Filosofias da História e da Ciência

No exame da Sociologia de Comte, e mesmo da Filosofia positivista, é normal se iniciar pela explicação de duas leis essenciais de seu sistema, a Lei dos Três Estados, do âmbito da Filosofia da História, e a da Classificação da Ciência, do domínio da Filosofia da Ciência, que formam, na realidade, partes inseparáveis de um conjunto harmônico.

---

[413] MONTESQUIEU. *O Espírito das Leis.*
[414] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[415] CONDORCET. *Esboço de um Quadro Histórico dos Progressos do Espírito Humano.*
[416] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

6.23.1.1.3.1 Lei dos Três Estados

Comte criou a Sociologia (inicialmente com o nome de Física Social) no *Curso de Filosofia Positiva* (1830/42), no qual, antes de expor a "natureza e o caráter provisório da Filosofia positiva", considerou necessário e indispensável apresentar uma "visão da marcha progressiva do espírito humano". Ao estudá-la, Comte anunciaria ter descoberto, na base de provas racionais e de considerações históricas, uma grande lei fundamental, que consiste "em que cada uma de nossas concepções principais, cada ramo de nossos conhecimentos, passa sucessivamente por três estados históricos diferentes: estado teológico ou fictício, estado metafísico ou abstrato, estado científico ou positivo"[417]. Continua Comte: "o espírito humano, por sua natureza, emprega sucessivamente em cada uma de suas investigações três métodos diferentes de filosofar, cujo caráter é essencialmente diferente e mesmo radicalmente oposto: primeiro, o método teológico, em seguida o método metafísico, finalmente o método positivo". Em consequência, há três sistemas gerais de concepções, cuja incompatibilidade é manifesta, sobre o conjunto de fenômenos, sendo o primeiro sistema o ponto de partida necessário da inteligência humana, e o segundo, de mera transição ao terceiro, estado definitivo.

De acordo com a lei dos três estados, a característica do espírito humano no estado teológico é dirigir suas investigações para a natureza íntima dos seres, as causas primeiras e finais de todos os efeitos, ou seja, para o conhecimento absoluto. Pela lei da analogia, segundo a qual os acontecimentos menos conhecidos são assimilados aos que o são mais[418], e pela tendência essencial do espírito humano de fazer a hipótese mais simples de acordo com os dados adquiridos[419], os fenômenos no estado fictício são entendidos, então, como produzidos pela ação direta e contínua de agentes sobrenaturais, intervenção que explica tudo do Universo.

Nesse primeiro estado (provisório e preparatório) do espírito humano, três etapas são identificadas: a fetichista (ou feiticista), surgida no início da evolução humana, que atribui os fenômenos ou acontecimentos a vontades fictícias, imaginárias, sobrenaturais. Nessa etapa inicial, do fetichismo puro, todas as coisas têm vida e vontade próprias, como o Homem; assim, os rios, os animais, as plantas, as pedras são entidades com vontade e poder, pelo que são reverenciadas e temidas. Bossuet diria que nas culturas primitivas, tudo era Deus, menos o próprio Deus. Em fase

[417] COMTE, Augusto. *Curso de Filosofia Positiva.*
[418] LINS, Ivan. *Escolas Filosóficas ou Introdução ao Estudo da Filosofia.*
[419] COMTE, Augusto. *Système de Politique Positive.*

posterior, tais atributos seriam estendidos aos "feitiços" mais distantes, como o Sol, a Lua, as estrelas, o trovão, o raio, as nuvens, o céu. É o "feiticismo astrolátrico", pelo qual o Homem explicaria os acontecimentos pela intervenção dos corpos celestes.

À etapa do "fetichismo" (puro e astrolátrico), seguem-se as fases teológicas do politeísmo e do monoteísmo, que se caracterizam por explicar os acontecimentos pela vontade de seres sobrenaturais (deuses, anjos, sereias, demônios, almas, etc) e por "conceber a matéria como inerte, visando chegar ao conhecimento absoluto das coisas, cuja suposta natureza íntima, cujos porquês, isto é, cujas causas primeiras e finais investiga"[420]. Nessa etapa, o Homem considera abstratamente as propriedades comuns a diversos corpos, ou seja, as manifestações de fenômenos e de acontecimentos são devidas, não aos corpos, mas a entes sobrenaturais, aos quais atribui, também, impulsos, vontades e paixões. O desenvolvimento da capacidade de abstrair, isto é, de considerar as propriedades em separado dos corpos, que as manifestam, explica, assim, o surgimento da etapa teológica. O espírito teológico representa "nitidamente a livre preponderância especulativa da imaginação", enquanto no fetichismo prevalecera o instinto e o sentimento nas teorias humanas[421].

No politeísmo, cada fenômeno ou acontecimento tem um deus particular; Hesíodo mencionou um número infindável de deuses e deusas marítimos, atribuindo a Oceano pelo menos três mil filhas, e o romano Varrão relacionou cerca de 30 mil deuses. Os deuses (Osíris, Isis, Zeus, Hera, Poseidon, Hades, Palas Atena, Apolo, Afrodite, Aries) comandavam os acontecimentos e os fenômenos (guerra de Troia, os ventos, os temporais). O monoteísmo atribui à vontade de um só deus a ocorrência de fenômenos e acontecimentos. A intervenção divina se faz, normalmente, por intermédio de mensageiros ou anjos, seres igualmente sobrenaturais. Com o desenvolvimento da mentalidade, a Razão viria a restringir cada vez mais o domínio anterior da imaginação, permitindo o desenvolvimento gradual do sentimento universal da submissão necessária de todos os fenômenos naturais a leis invariáveis[422]. Distinção marcante entre o politeísmo e o monoteísmo é a concepção do "milagre", que corresponde à suspensão das imutáveis leis naturais; no monoteísmo, o milagre é algo prodigioso, admirável e sua realização possível apenas para um ente sobrenatural, enquanto no politeísmo, sendo ainda muito pouco vulgar a noção de milagre, os fenômenos tinham um caráter apenas "maravilhoso".

---

[420] LINS, Ivan. *Escolas Filosóficas ou Introdução ao Estudo da Filosofia.*
[421] COMTE, Augusto. *Exposição sobre o Espírito Positivo.*
[422] COMTE, Augusto. *Exposição sobre o Espírito Positivo.*

No estado (segundo) metafísico (ou ontológico), escreve Comte, que nada mais é do que simples modificação geral do primeiro (fictício) e transitório,

> os agentes sobrenaturais são substituídos por forças abstratas, verdadeiras entidades (abstrações personificadas) inerentes aos diversos seres do Mundo, e concebidas como capazes de engendrar por elas próprias todos os fenômenos observados, cuja explicação consiste, então, em determinar para cada um uma entidade correspondente[423].

Os fenômenos já não são produzidos ou dirigidos por deuses ou Deus, mas por entidades imprecisas, vagas, invisíveis, intangíveis, inodoras e imponderáveis, como "forças" e "fluidos", inerentes aos próprios corpos (calórico, fluido elétrico, éter luminoso, flogístico, horror ao vazio, vitalismo).

Assim, como na Teologia, continuaria, na Metafísica, a predominar a especulação tendente ao conhecimento absoluto, buscando explicar a íntima natureza dos seres, a origem e o destino de todas as coisas e o modo essencial de produção de todos os fenômenos. Importante mudança da explicação ocorreu, no entanto, ao substituírem os agentes sobrenaturais por entidades ou abstrações personificadas[424], as quais são substituídas, no final do estado abstrato, por uma única entidade geral, a Natureza, fonte exclusiva de todos os fenômenos. Como esclarece Ivan Lins, a Metafísica condensa todas as entidades "numa só, como o faria com um Deus: a Natureza, a qual serve para explicar quaisquer fenômenos que se ofereçam à observação do Homem"[425]. Não é mais dominante, contudo, a tendência à pura imaginação e à argumentação em lugar da observação, pois o Homem passaria a explicar os fenômenos por meio da razão ou do raciocínio. A crise definitiva do espírito metafísico teria começado, segundo Comte, na Europa ocidental, a partir de "dois admiráveis impulsos mentais"; um científico, emanado de Kepler e Galileu, outro filosófico, proveniente de Bacon e Descartes, quando, então, se manifestaria o espírito positivo[426].

No estado positivo (regime definitivo da razão humana), sustenta Comte, o espírito humano, convencido da impossibilidade de alcançar noções absolutas, renuncia à procura da origem e do destino do Universo e ao conhecimento das causas últimas dos fenômenos para se preocupar, unicamente, em descobrir, graças ao uso bem combinado do raciocínio e da observação, suas leis efetivas, a saber, suas relações invariáveis

---

[423] COMTE, Augusto. *Curso de Filosofia Positiva.*
[424] COMTE, Augusto. *Exposição sobre o Espírito Positivo.*
[425] LINS, Ivan. *Escolas Filosóficas ou Introdução ao Estudo da Filosofia.*
[426] COMTE, Augusto. *Exposição sobre o Espírito Positivo.*

de sucessão e de similitude. A explicação dos fatos e dos fenômenos, reduzida a termos reais, se resumirá, então, de agora em diante, na ligação estabelecida entre os diversos fenômenos particulares e alguns fatos gerais, cujo número o progresso da Ciência tende cada vez mais a diminuir[427]. O ideal de representar os diversos elementos observáveis como casos particulares de um só fato geral, como o da gravitação, é inatingível, dada a limitada inteligência humana frente à complexidade do Mundo. A unidade científica ou a redução de todos os fenômenos a um só é, pois, uma utopia.

As concepções gerais sobre o Mundo e o Homem passam a se basear exclusivamente em dados fornecidos pela Ciência, ou seja, em leis ou ao "como" dos fenômenos, recusando o espírito positivo a investigar o "porquê" e as causas primeiras dos fenômenos, conforme o aforismo de Diderot, de que "o físico, cujo objeto é instruir e não formar sistemas, abandonará o 'porquê' e só do 'como' se ocupará". As causas imediatas, determinantes do fenômeno, passam a ser analisadas, segundo o método científico, sem apelar para a especulação e a imaginação. Não se busca no estado positivo as causas geradoras dos fenômenos, porquanto se estaria apenas recuando a dificuldade, "mas somente analisar com exatidão as circunstâncias de sua produção e vinculá-las umas às outras, mediante relações normais de sucessão e de similitude"[428]. A Ciência consiste, em verdade, nas leis dos fenômenos, cujo conhecimento permitirá ao Homem agir em seu benefício; logo, "Ciência, daí previdência, previdência, daí ação", como declara Comte no *Curso*. O espírito positivo rechaça, igualmente, o conceito de absoluto, e sustenta a natureza necessariamente relativa de todos os nossos conhecimentos reais.

Tendo adquirido, com a criação da Sociologia, o caráter de universalidade, o espírito positivo se tornará capaz de substituir, com superioridade natural, a Filosofia teológica e a Filosofia metafísica, as únicas, segundo Comte, "a possuir realmente hoje essa universalidade".

6.23.1.1.3.2 Classificação das Ciências

Importante assinalar, desde já, que, na concepção de Comte, o conhecimento científico se fundamenta na observação dos fatos, se caracteriza por ser real, útil, preciso, certo, positivo e relativo, e consiste na pesquisa das leis, isto é, das relações constantes que existem entre os

[427] COMTE, Augusto. *Curso de Filosofia Positiva.*
[428] COMTE, Augusto. *Curso de Filosofia Positiva.*

fenômenos observados. A Ciência não é formada, no entanto, pela simples observação, nem se constitui da vã erudição, que acumula maquinalmente fatos sem aspirar a deduzi-los uns dos outros. O conhecimento científico, segundo o espírito positivo, consiste em estudar o que é, a fim de concluir disso o que será, isto é, a fim de prever[429], expresso na famosa fórmula: saber para prever a fim de prover.

Com a criação da Sociologia, que completa o sistema de Ciências fundamentais, tornou-se possível apresentar, de forma coordenada, os diferentes ramos do saber enciclopédico, ao invés de continuar considerando as diversas Ciências como vários corpos isolados. Em consequência, estabeleceria Comte uma "classificação racional" das Ciências positivas fundamentais, abstratas e gerais, a partir dos estudos dos objetos a serem classificados segundo a dependência mútua, decorrente dos fenômenos observáveis correspondentes. É possível estabelecer um pequeno número de categorias naturais, dispostas de tal maneira que "o estudo racional de cada categoria se funde com o conhecimento das leis principais da categoria precedente, convertendo-se no fundamento do estudo da seguinte. Essa ordem é determinada pelo grau de simplicidade, ou, o que é o mesmo, pelo grau de generalidade dos fenômenos, donde resulta sua dependência sucessiva" (*Curso de Filosofia Positiva*); assim, os fenômenos mais simples e mais gerais são a base sobre a qual se erigem os mais complicados e mais particulares. O princípio da classificação é, pois, o da generalidade decrescente e complexidade crescente.

Comte adverte que, inevitavelmente, sua classificação não poderia estar rigorosamente conforme ao encadeamento histórico das Ciências (caso da Óptica em relação à Astronomia), mas o importante era evitar um encadeamento inconveniente para as concepções características de cada Ciência. Apesar de não tomar a ordem histórica como base da classificação, Comte indicaria, como propriedade essencial da escala enciclopédica, sua conformidade geral com o conjunto da História científica[430].

A classificação deve ser fundamentada no objetivo das Ciências de descobrir as leis que regem os fenômenos, não incluindo, portanto, as "artes" (tecnologia), cujo objetivo é o de buscar aplicação prática imediata para o conhecimento. O espírito humano, escreveu Comte, deve proceder a pesquisas teóricas, fazendo completa abstração de toda consideração prática, porquanto nossos meios para descobrir a verdade são de tal modo fracos que, se não os concentrássemos exclusivamente neste fim, se na procura desta verdade nos impuséssemos, ao mesmo tempo, a condição

[429] COMTE, Augusto. *Exposição sobre o Espírito Positivo.*
[430] COMTE, Augusto. *Curso de Filosofia Positiva.*

estranha de encontrar nela uma utilidade prática imediata, quase sempre nos seria impossível chegar a ela[431].

Assim, há dois gêneros de Ciências, as "abstratas", gerais, com o objetivo de descobrir as leis dos fenômenos naturais, e as "concretas", particulares, descritivas, designadas, às vezes, como ciências naturais, que consistem na aplicação dessas leis. As primeiras são fundamentais, e as segundas, ainda que importantes, são secundárias para os propósitos de Comte.

A primeira divisão, mais ampla e geral, segundo o princípio da generalidade decrescente e complexidade crescente, compreende duas classes: a dos fenômenos dos corpos brutos e a dos fenômenos dos corpos organizados, estando na primeira os fenômenos astronômicos, físicos e químicos, e na segunda, os fisiológicos e sociais. Segundo esse princípio, quanto mais simples o fenômeno, mais fácil pensá-lo positivamente.

Dessa forma, as cinco Ciências fundamentais, cuja sucessão é determinada pela subordinação necessária e invariável, são a Astronomia, a Física, a Química, a Fisiologia (Biologia) e a Sociologia. A primeira trata dos fenômenos mais gerais, mais simples, mais abstratos e mais afastados da Humanidade, e que influenciam todos os outros fenômenos sem serem por eles influenciados; os fenômenos sociológicos são, ao contrário, os mais particulares, mais complicados, mais concretos e mais diretamente interessantes ao Homem, e que dependem, mais ou menos, de todos os precedentes, sem exercer sobre eles influência alguma. Comte considera a Matemática "o instrumento mais poderoso que o espírito humano pode empregar na investigação das leis dos fenômenos naturais" e deve constituir o verdadeiro ponto de partida de toda educação científica racional[432]. Como seu estudo deve ser preliminar, indispensável ao de todas as outras ordens de fenômenos, a Ciência Matemática é colocada na base da hierarquia das Ciências.

A evolução de cada ramo do conjunto do conhecimento científico esteve sujeito a passar pelos três estados sucessivos da história do espírito humano. Os fenômenos mais gerais e simples da Matemática (incluída a Mecânica) e da Astronomia foram os primeiros a passar pelos estados teológico e metafísico, sendo, portanto, os primeiros a atingir a positividade, seguidos, na ordem da generalidade decrescente e da complicação crescente, pelos fenômeno físicos (no século XVII, com Galileu, Kepler e Newton), químicos (no século XVIII, com Lavoisier), biológicos (no início do século XIX, com Bichat) e sociológicos (com Comte)[433].

---

[431] COMTE, Augusto. *Curso de Filosofia Positiva.*
[432] COMTE, Augusto. *Curso de Filosofia Positiva.*
[433] COMTE, Augusto. *Système de Politique Positive.*

Comte conclui sua formulação da classificação das Ciências com a ordem das seis Ciências fundamentais: Matemática, Astronomia, Física, Química, Biologia e Sociologia, única fórmula enciclopédica lógica de acordo com a hierarquia natural e invariável dos fenômenos.

6.23.1.1.4 Sociologia Positivista

Como esclareceu Aron, a combinação da lei dos três estados com a classificação das Ciências tem por objetivo provar que a maneira de pensar que triunfou na Matemática, na Astronomia, na Física, na Química e na Biologia deve, por fim, se impor à política, levando à constituição de uma ciência positiva da Sociedade, a Sociologia[434].

A preponderância, no método, da imaginação sobre a observação, e na doutrina, do absoluto sobre o relativo, resultou na tendência de exercer uma ação arbitrária e indefinida sobre todos os fenômenos, que não são considerados dependentes de leis naturais. No estado teológico-metafísico, afirmaria Comte, o espírito geral das especulações humanas é necessariamente ideal em seu desenvolvimento, absoluto em suas concepções e arbitrário nas aplicações[435].

O triunfo universal do estado positivo sobre o teológico e o metafísico advirá da aplicação do método científico e de suas diversas técnicas de investigação (observação, comparação, verificação, demonstração, comprovação) e do reconhecimento da impossibilidade de se alcançarem noções absolutas. Nesse contexto, adquire especial significação o termo "positivo", que para Comte expressa o real em oposição ao quimérico, o útil em contraste com o ocioso, a certeza frente à indecisão, o preciso contrário ao vago, o positivo antagônico a negativo[436]. O pensamento positivo é construtivo, não destrutivo, é organizador, não anárquico. Além desses significados, Comte assinala que o único caráter essencial do novo espírito filosófico consiste em sua tendência necessária de substituir o absoluto pelo relativo, uma vez que pela própria condição humana não se pode chegar ao conhecimento das causas primeiras e finais dos fenômenos.

O conhecimento científico é, pois, aquele real, útil, preciso, certo, positivo e relativo, o qual deve basear-se na observação dos fatos, na apreciação daquilo que é[437].

---

[434] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[435] COMTE, Augusto. *Curso de Filosofia Positiva.*
[436] COMTE, Augusto. *Exposição sobre o Espírito Positivo.*
[437] COMTE, Augusto. *Exposição sobre o Espírito Positivo.*

A nova Ciência proposta por Comte é o estudo das leis do desenvolvimento histórico, da evolução da espécie humana, como uma unidade, a qual prevalece, necessariamente, sobre seus elementos constituintes. Seguindo Condorcet, considerava Comte o Homem uma abstração, sendo a Humanidade a única realidade, objeto da Ciência. Estabelecendo o vínculo entre as Ciências ocupadas com "organismos organizados", a Sociologia, como a Biologia, deveria ser entendida essencialmente como uma Ciência sintética, ou seja, o estudo de um órgão, de um elemento ou de uma função requer considerar o ser vivo como um todo. Portanto, essas duas Ciências pertencem a uma categoria diferente das Ciências de natureza inorgânica, que, analíticas, estabelecem leis entre fenômenos isolados. Como em Biologia, o todo é mais que a soma de suas partes. É impossível explicar um fenômeno social ou biológico sem considerar o organismo, social ou biológico, como um todo.

Essa inversão fundamenta a primazia do todo sobre o particular e da Síntese sobre a Análise, e, em consequência, justifica a concepção sociológica positivista da unidade histórica da espécie humana, que só pode ser entendida pelo método histórico da observação e da comparação, cujo postulado é o da evolução, sem transformação, do Homem. Em outras palavras, a natureza humana não muda, posto que o progresso não lhe incorpora nenhum elemento novo, mas se desenvolve, uma vez que o progresso permite o aparecimento das suas virtudes latentes.

A Sociedade humana se encontra no limiar de uma nova ordem social, em que prevalecerão o modelo ocidental industrial e o espírito positivo, com a adoção generalizada do método científico, inclusive pela Sociologia e a Moral. A contradição interna da atual Sociedade, que resulta na situação caótica e de crise, deriva exatamente do conflito entre uma Sociedade do tipo teológico-militar, guerreira, e a do tipo científico-industrial, pacífica[438]. A passagem de um estado em que os acontecimentos sociais e políticos são abandonados ao capricho e ao acaso, para um de previsão racional, requer introduzir no estudo desses fenômenos o espírito de positividade científica, o mesmo que regenerou os outros ramos do conhecimento humano[439]. Assim, a regeneração política deve ser presidida pelos princípios sociológicos.

Comte divide a Sociologia em duas partes ou em duas categorias centrais: Estática e Dinâmica, correspondentes, respectivamente, às duas noções de "Ordem" e "Progresso" de sua famosa máxima "O Amor por princípio, a Ordem por base e o Progresso por fim". Tais princípios são básicos e inseparáveis, pois "o Progresso constitui, com a Ordem, uma das duas condições fundamentais da Civilização moderna"[440].

[438] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[439] COMTE, Augusto. *Système de Politique Positive.*
[440] COMTE, Augusto. *Exposição sobre o Espírito Positivo.*

6.23.1.1.4.1 Estática Social

Inicialmente delineada no quarto volume do *Curso*, a concepção da Estática Social está plenamente desenvolvida no tomo segundo (maio de 1852), com o subtítulo de *Tratado Abstrato da Ordem Humana*, do *Sistema de Política Positiva*, mas é tratada, também, no tomo primeiro (julho de 1851), relativo à estrutura da natureza humana.

A Estática Social consiste, fundamentalmente, no estudo do "consenso social", isto é, a noção do inevitável "consenso universal", conjunto de crenças e valores comuns. A Estática estuda as condições gerais de toda a vida social, considerada em si mesma, em qualquer tempo e lugar. Ao se assemelhar a Sociedade a um ser vivo, a Estática Social pode ser comparada à Anatomia, pois lhe cabe estudar o organismo social, como se organizam os diferentes elementos do corpo social, o que significa a impossibilidade, em consequência, de se estudar adequadamente o Estado e a Política sem situá-los no conjunto da Sociedade em determinado momento. A Estática Social compreende, assim, tanto a análise anatômica da estrutura da Sociedade em certo momento, quanto a análise dos elementos que determinam o "consenso", isto é, "que fazem do conjunto dos indivíduos ou famílias uma coletividade e da pluralidade das instituições uma unidade"[441]. Em outras palavras, a Estática Social se ocupa de conhecer os órgãos essenciais de toda a sociedade, inclusive sua diversidade histórica, para descobrir os princípios que regem a ordem social. Como só há uma História, é possível, pelo estudo da Estática, identificar as características de toda Sociedade.

Inicialmente, explicou Comte no *Sistema*, mediante abstração provisória, é necessário estudar a ordem humana como se fosse imóvel, para apreciar as diversas leis fundamentais, comuns a todos os tempos e lugares. O segundo tomo, prossegue Comte, deve caracterizar sucessivamente a ordem humana sob todos os aspectos fundamentais, e sobre cada um deles é preciso determinar o regime normal que corresponde à nossa verdadeira natureza para, em seguida, "explicar a necessidade que subordina seu aparecimento decisivo a uma longa preparação gradual[442].

Em consequência, a Estática é precedida por considerações sobre a natureza humana e a ordem social.

A tendência social do Homem ou sua sociabilidade espontânea, independente de qualquer cálculo de utilidade individual, é inerente à natureza humana. O estado social se estabeleceria, assim, por essa característica intrínseca do Homem, pois a vantagem auferida por tal

[441] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[442] COMTE, Augusto. *Système de Politique Positive.*

estado não poderia ser prevista, mas só se manifestaria a partir de um determinado ponto da evolução social.

Três são os atributos da natureza humana: sentimento, atividade e inteligência, em que o sentimento (afeição) prepondera sobre os demais; o impulso da atividade é movido pelo sentimento, o qual deve ser controlado pela inteligência, donde "agir por afeição e pensar para agir". Desta forma, o órgão determinante da conduta humana, segundo Comte, é o coração, sendo o cérebro um órgão de direção ou de controle[443].

Após estabelecer, no tomo primeiro do *Sistema*, os atributos da natureza humana e a localização das funções cerebrais, cinco capítulos do segundo tomo tratam, sucessivamente, dos elementos da Estática Social, ou seja, a "teoria geral da religião" ou teoria positiva da unidade humana, "teoria positiva da propriedade material", "teoria positiva da família", "teoria positiva da linguagem" e "teoria positiva do organismo social" ou da divisão do trabalho, além de um capítulo sexto, relativo à existência social sistematizada pelo sacerdócio, e outro relativo aos limites gerais de variação próprios à ordem humana.

A teoria geral da religião tem o objetivo de mostrar a indispensável função da Religião na Sociedade humana, em vista da sua unidade resultante do consenso social. A unidade social exige um princípio de unidade para todos os indivíduos, ou seja, de uma Religião, a qual segue a divisão ternária da natureza humana: o aspecto afetivo que se exprime no culto, o aspecto intelectual no dogma, e o aspecto prático no regime, que regula o comportamento público e privado dos crentes. A Religião, que reproduz as diferenças da natureza humana (sentimento, inteligência e ação), se constitui, assim, na verdadeira base da ordem social. Deste modo, a "Religião revelada" é substituída por uma "Religião da Humanidade", que cultua todos aqueles de gerações passadas que contribuíram para o aperfeiçoamento da espécie humana. A ideia da divindade transcendente das religiões tradicionais é abandonada pela concepção evolutiva da Sociedade.

A propriedade, projeção da atividade na vida social, permite ao Homem produzir mais do que necessita para as suas necessidades imediatas, isto é, permite a acumulação de provisões e capital que serão úteis à Sociedade presente e transmitidos de geração em geração. O relevante da propriedade é sua função social, que assegura a transmissão das obras materiais, além da existência de seus criadores, a seus descendentes.

De acordo com a teoria positiva da linguagem, a continuidade da Civilização pela transmissão aos vivos do pensamento dos que

---

[443] COMTE, Augusto. *Système de Politique Positive.*

morreram é próprio e exclusivo da espécie humana. A lei da acumulação, que se aplica à propriedade, é igualmente aplicável à linguagem, pois as conquistas intelectuais não desaparecem com os que as produziram, ou, em outras palavras, as aquisições da inteligência são preservadas, a cultura dos antepassados é transmitida às gerações futuras. Assim, além de viabilizar eficiente comunicação entre os indivíduos, a linguagem, sob a forma escrita, permite a constituição de um capital intelectual, essencial na evolução histórica humana. A unidade humana ao longo do tempo está sintetizada nos célebres pensamentos de Comte: "a Humanidade está constituída mais por mortos do que por vivos" e "os mortos governam cada vez mais os vivos"[444].

Pela teoria positiva da família, no capítulo terceiro do tomo segundo do *Sistema*, a família é a verdadeira unidade social, na qual a vida doméstica tem um papel central. O modelo é a família do tipo ocidental, monogâmico, no qual realça a insubstituível função educadora para o sentimento de solidariedade e respeito às tradições. Duas ordens de relações são básicas, a subordinação dos sexos, que institui a família, e a das idades, que a mantém. Não há igualdade de sexo, posto que o homem é inteligência e a mulher sensibilidade, cada um com uma função social. O poder espiritual da mulher contrasta com a "vã superioridade intelectual do homem", o que significa relações complexas de comando e obediência entre homem e mulher. As relações familiares, quanto à idade, são de igualdade entre irmãos, de veneração entre filhos e pais, de bondade entre pais e filhos.

O quinto capítulo do segundo tomo do *Sistema* versa a respeito da teoria positiva do organismo social, cuja principal característica está na especialidade das diversas funções, desempenhadas por órgãos cada vez mais distintos, embora solidários. Para que exista uma organização, deve o princípio da cooperação dos esforços prevalecer sobre o da diversidade das atividades e o da separação dos ofícios. A organização social tende cada vez mais à divisão do trabalho, cuja dispersiva especialização, inclusive no campo científico, gera desastrosas consequências, pelo que deve ser reprimida. A finalidade social do governo é, assim, a de conter e de prevenir a dispersão das ideias, dos sentimentos e dos interesses, que, se deixada a seu próprio curso, acabaria por sustar a progressão social[445]. O primado do poder, que se apresenta como essencialmente material, porque resulta sempre da grandeza (número) ou da riqueza, é defendido como essencial na organização prática da Sociedade. Essa concepção é a base elementar e

[444] COMTE, Augusto. *Système de Politique Positive.*
[445] COMTE, Augusto. *Système de Politique Positive.*

abstrata do governo, devendo-se reconhecer que a ordem social nunca pode ter outra base imediata. O célebre princípio de Hobbes, escreveu Comte, "sobre a dominação espontânea da força constitui, no fundo, o único passo importante que tenha sido dado, desde Aristóteles até mim, pela teoria positiva do Governo"[446]. O poder temporal não é absoluto, pois tem, ao longo do tempo, a contrapartida permanente no poder espiritual, com a função de limitá-lo e moderá-lo. Quando o poder espiritual, no curso da História, consagrou o poder temporal (os reis são ungidos pelos sacerdotes ou reinam em nome de Deus), aumentou a autoridade do governante. Na fase final, porém, o poder espiritual, a ser exercido pelos cientistas, concederá apenas uma consagração parcial ao poder temporal exercido, na sociedade industrial, pelos banqueiros e industriais[447].

Para a distinção entre poder espiritual e poder temporal é fundamental a História, comenta Aron na obra já citada, descoberta pela análise estática da distinção entre os dois poderes. Esse estudo da Estática elucida o sentido da Dinâmica, do tríplice ponto de vista da inteligência, da atividade e do sentimento.

6.23.1.1.4.2 Dinâmica Social

O tomo terceiro (agosto de 1853) do *Sistema de Política Positiva* é dedicado à Dinâmica Social, com o subtítulo de *Teoria Geral do Progresso Humano*, num estudo que desdobra, de acordo com a lei dos três estados, a evolução histórica da sociedade humana. A Dinâmica é a Ciência do movimento necessário e contínuo da Humanidade ou a "Ciência das leis do progresso". Comte retoma, desenvolve e reforça os conceitos emitidos no *Curso de Filosofia Positiva* e na *Exposição sobre o Espírito Positivo*.

O tema está exposto em sete capítulos: o primeiro é intitulado "teoria positiva da evolução humana" ou "leis gerais do movimento intelectual e social"; o segundo, "teoria positiva da idade fetichista, ou apreciação geral do regime espontâneo da Humanidade"; o terceiro, "teoria positiva do estado teocrático, ou apreciação geral do regime espontâneo conservador"; o quarto, "teoria positiva da elaboração grega, ou apreciação geral do politeísmo intelectual"; o quinto, "teoria positiva da incorporação romana, ou apreciação geral do politeísmo social"; o sexto, "teoria positiva da transição católico-feudal, ou apreciação geral do monoteísmo defensivo"; e o sétimo, "teoria positiva da revolução ocidental ou apreciação geral do

[446] COMTE, Augusto. *Système de Politique Positive.*
[447] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

movimento duplo moderno". Trata-se, portanto, de uma elaboração, mais completa e explicativa, da lei dos três estados.

A Dinâmica Social é, assim, o movimento intelectual e social ao longo da História, ou seja, a evolução do pensamento no estado fetichista e teológico, desde a cultura pré-histórica, passando pelas primeiras civilizações teocráticas, pelo politeísmo intelectual grego e social romano, e pelo monoteísmo católico-feudal, até atingir, na época atual, o estado positivo, caracterizado por uma Sociedade pacífico-industrial, cujo modelo é a revolução ocidental.

O universalismo do fetichismo, primeiro puro, depois astrolátrico, nas origens da Sociedade humana, seria substituído pela universalidade do regime teológico, primeiro politeísta, depois monoteísta (Cristianismo e Islamismo), o qual, por sua natureza transcendental e mística, é contrário ao espírito positivo, o que determinará sua substituição por uma religião adequada e compatível com positividade, estado definitivo da Sociedade.

Nos diversos capítulos da *Dinâmica Social* (tomo terceiro), a teoria positiva examina a evolução segundo os três atributos da natureza humana, inteligência, ação e afeição, faz uma apreciação geral do período sob exame, do ponto de vista negativo e positivo, e aponta para o recente surgimento da positividade sob a égide da Ciência.

A Dinâmica estuda, assim, as condições da evolução histórica da Sociedade humana, do estado fetichista ao positivo na ordem intelectual, do estado militar ao industrial na ordem prática e do estado do egoísmo ao do altruísmo na ordem afetiva. Como explicou Aron, na obra já citada,

> a história da inteligência vai do fetichismo ao positivismo, isto é, da síntese baseada na subjetividade e na projeção sobre o Mundo exterior de uma realidade semelhante à da consciência, até a descoberta e a constituição das leis que comandam os fenômenos, sem pretensão a identificar suas causas. A atividade passa da fase militar à fase industrial, isto é, em termos marxistas, da luta dos homens entre si à luta vitoriosa do Homem com a Natureza... Finalmente, a história da afetividade é a do desenvolvimento progressivo das disposições altruístas, sem que o Homem deixe jamais de ser, espontânea e primariamente, egoísta.

Essa tríplice significação da História resulta da Estática, continua Aron, "que permite compreender a História em relação à estrutura fundamental da Sociedade"[448].

[448] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

6.23.1.2 Karl Marx e a Sociologia na Alemanha

Os anos de 1850, quando a Sociologia Positivista já estava totalmente elaborada, publicada e bem conhecida nos círculos intelectuais, correspondem, igualmente, ao período em que a chamada Sociologia Marxista se desenvolveria, do ponto de vista conceitual, assumindo, inclusive, uma posição política ativista no sentido de orientar e dirigir os movimentos populares.

O objetivo principal do filósofo não era, contudo, o desenvolvimento da nova Ciência, mas a formulação e a proposição de uma ampla e revolucionária transformação política, social e econômica da Sociedade capitalista moderna, por meio da luta de classes, numa sociedade comunista. Nesse sentido, deve ser entendida sua importante contribuição para o desenvolvimento da Sociologia.

6.23.1.2.1 Vida e Obra de Karl Marx

Karl Marx nasceu na cidade de Treves, então na Prússia renana, no dia 5 de maio de 1818, de pais judeus, sendo que seu pai, advogado, se converteria ao protestantismo em 1824. Após o curso secundário (1830-1835), em sua cidade natal, Marx se matriculou na Universidade de Bonn para estudar Direito, onde permaneceu por dois anos (1835-1836), quando ficou noivo (o casamento só se realizaria em 1843) de Jenny von Westphalen, de família de recursos e de alta posição social. Em 1836, transferiu-se para a Universidade de Berlim (1836-1841), dedicando-se mais ao estudo de Filosofia e de História que ao de Direito. Nesse período, estudou a Filosofia de Hegel (1770-1831), que exercia grande influência nos meios universitários alemães da época, e frequentou o "Doktor Club", onde se reuniam os jovens, divididos entre hegelianos de direita e de esquerda, identificando-se Marx com este último grupo. Ainda em 1841, doutorou-se em Filosofia, pela Universidade de Iena, e escreveu o opúsculo *Diferença entre a Filosofia da Natureza de Demócrito e Epicuro*, com a intenção de obter uma cátedra na Universidade de Bonn. Com a destituição de seu amigo e protetor, Bruno Bauer (1809-1872), mas com quem romperia em 1844, Marx desistiria da carreira universitária, mas continuaria a morar em Bonn e a colaborar com Arnold Ruge (1802-1880) na *Gazeta Renana*, publicada em Colônia, mas que seria logo fechada, pela perseguição do Governo prussiano à esquerda hegeliana.

Casou-se, então, Marx com sua noiva Jenny, apesar da oposição das famílias, e ainda em 1843, refugiou-se em Paris, onde a esquerda hegeliana

fundaria a revista *Anais Franco-Alemães*, que, sob a direção de Marx, Ruge e Heinrich Heine (1797-1856), publicaria um único número, em fevereiro de 1844, com dois artigos de Marx: *Introdução a uma Crítica da Filosofia do Direito de Hegel* e *A Questão Judaica*[449]. Ainda nesse número, colaboraria Friedrich Engels (1820-1895) com *Esboço de uma Crítica da Economia Política*, início de um fecundo trabalho conjunto e de sólida e sincera amizade recíproca. É desse mesmo ano a publicação de *A Condição da Classe Operária na Inglaterra*, de Engels. Nessa época, Marx escreveria uma série de artigos, que só viriam a público em 1932, sob o título *Manuscritos Econômico-Filosóficos*, bem como, em colaboração com Engels, a *Sagrada Família* (1844), uma crítica à esquerda hegeliana e aos irmãos Bruno, Edgard e Egbert Bauer, que apoiavam o papel das elites intelectuais na transformação da Sociedade e desprestigiavam o papel do proletariado nessa mudança[450]. Expulso de Paris, por pressão das autoridades prussianas, Marx se instalaria em Bruxelas (1845-1848), faria uma viagem de estudos à Inglaterra com Engels, romperia com Proudhon, que escrevera *Filosofia da Miséria*, com a obra *Miséria da Filosofia* (1847) e escreveria, com Engels, a *Ideologia Alemã*, reiteração da inevitabilidade da luta de classes.

Tendo participado com Engels, em Londres, em novembro de 1847, do segundo congresso da "Liga dos Comunistas", foram os dois encarregados de redigir um manifesto, que seria publicado em fevereiro de 1848, como *Manifesto Comunista*, que, além de desenvolver a teoria de luta de classes e o papel revolucionário do proletariado, conclamava o trabalhador à ação política. Diante da agitação popular contra a política conservadora e "elitista", em vários países europeus, inclusive a Bélgica, o rei Leopoldo dissolveria associações operárias, no início de 1848, e expulsaria do país Marx, que, após rápida estada em Paris, instalou-se em Colônia.

Redator-chefe da *Nova Gazeta Renana*, Marx desenvolveria intensa campanha para radicalizar o movimento revolucionário da Alemanha, defendendo a aliança do proletariado e dos camponeses com a burguesia. A revista, em 1849, publicaria seu artigo *Trabalho, Salário e Capital*, porém, a vitória política de seus adversários obrigou-o a deixar, mais uma vez, a Renânia, exilando-se, temporariamente, em Paris, para, em seguida, instalar-se definitivamente em Londres. Sua situação econômica, sempre difícil, se agravaria com as perdas sofridas com o fechamento da Revista, que consumira a herança familiar recebida, vindo Marx a viver em grandes dificuldades, passando momentos de verdadeira miséria, socorrido pela ajuda desinteressada e amiga de Engels.

---

[449] GIANOTTI, José Arthur. *Coleção Os Pensadores – Marx.*
[450] ANDERY, Maria Amália; SÉRIO, Tereza Maria. *Para Compreender a Ciência.*

Nos primeiros anos de Londres (1850/57), Marx se dedicaria ao estudo de Economia, escreveria *As Lutas de Classe na França* (1850) e *O 18 Brumário de Luiz Bonaparte* (1852). Diante das crescentes dificuldades para sustentar a família, Marx abandonaria, temporariamente (1852-1857), seus estudos e se dedicaria ao jornalismo. Em 1858, retomaria os trabalhos de Economia e publicaria, no ano seguinte, o importante *Contribuição para a Crítica da Economia Política*, livro que não teve, porém, repercussão nos meios intelectuais e políticos.

De 1859 até a publicação de *O Capital*, escreveria Marx um grande número de artigos e opúsculos que seriam reunidos no *Esboços da Crítica da Economia Política* e *Teorias sobre a Mais-Valia* (publicado em 1905). Nesse período, voltaria Marx a uma intensa atividade política, dedicando-se à tarefa de organizar o movimento mundial operário. Em 1864, participaria da fundação da Associação Internacional dos Trabalhadores, para a qual redigiu seus estatutos, e cuja primeira reunião, em Londres, é conhecida como a "Primeira Internacional", que se realizou no ano seguinte, quando buscou uma atuação coordenada com outros movimentos socialistas, como os de Pierre Joseph Proudhon, Ferdinand Lassalle (1825-1864), Giuseppe Mazzini (1805-1872), Mikhail Bakunin (1814-1876) e sindicatos operários ingleses. Com a decisão do congresso em reunião na cidade de Haia de 2 a 7 de setembro de 1872, seria a "Internacional" extinta em 1873, passando à ação política e à difusão das ideias e das propostas marxistas para o âmbito dos sindicatos e associações nacionais existentes em vários países; em 1889, se realizaria a II Internacional, extinta durante a Primeira Guerra Mundial. Ainda em 1865, Marx escreveria *Salário, Preço e Mais-Valia*, e, em 1867, publicaria o primeiro volume de sua mais importante obra, *O Capital*, verdadeira "sociologia do capitalismo e uma História filosófica da Humanidade, embaraçada nos seus próprios conflitos até o fim da Pré-História"[451]; os volumes segundo e terceiro de *O Capital* seriam publicados por Engels, respectivamente, em 1885 e 1894.

Nos anos 70, publicaria Marx *A Guerra Civil na França* (1871), com uma análise da Comuna de Paris, e *Crítica do Programa do Gotha*, sobre as propostas social-democratas na Alemanha. Colaboraria para o programa do Partido Operário Francês, nos moldes do recém-fundado Partido Operário Social-Democrata, de inspiração marxista, por Wilhelm Liebknecht (1826-1900) e August Bebel (1840-1913) em 1869, na Alemanha; em 1878, Engels publicaria *O Anti-Dühring* para sustentar os conceitos filosóficos, econômicos, históricos e sociológicos marxistas contra as ideias do socialista Eugen Duhring (1833-1921), autor de *Revolução na Ciência*, que, em Ciência Política, adotara uma posição antimarxista.

---

[451] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

Abalado fisicamente, após muitos anos de intenso trabalho intelectual e político, e de privações decorrentes de suas grandes dificuldades financeiras e moralmente atingido com a perda de filhos e de sua esposa, morta em 2 de dezembro de 1881, Marx reduziria suas atividades em seus últimos meses de vida. Viajaria à França e à Suíça, em 1882, vindo a falecer em Londres, em 14 de março de 1883.

6.23.1.2.1.1 Precursores e Influências

A doutrina filosófica, sociológica e econômica marxista é uma obra pessoal de Marx, o que não significa não ter ele sido influenciado por ideias avançadas de alguns pensadores e pela sua própria participação direta na organização e direção de movimentos populares. Suas principais concepções já lhe eram nítidas em meados dos anos 40, quando criticou Hegel e rompeu com a "esquerda hegeliana", e, em 48, quando expôs, no *Manifesto Comunista*, suas ideias revolucionárias (luta de classes, materialismo histórico).

A conjunção de três influências explica o pensamento de Marx, segundo Engels, – a Filosofia alemã, a economia política inglesa e a ciência histórica francesa[452].

Quanto à primeira, o pensador com maior influência nos meios intelectual e universitário da Alemanha, na primeira metade do século XIX, foi Friedrich Hegel (1770-1831), professor da Universidade de Iena (1805), catedrático de Filosofia nas Universidades de Heidelberg (1816) e de Berlim (1818), autor, entre outras obras, *de Fenomenologia do Espírito* (1806-1807), *Enciclopédia das Ciências Filosóficas* (1817) e *Princípios da Filosofia do Direito* (1821). O universitário Marx participaria ativamente de reuniões de jovens hegelianos, interessados em debater as ideias do filósofo alemão (idealismo, racionalismo, dialética, alienação, teologia, processo histórico, entre outras), defendendo posições que constituíam a chamada "esquerda hegeliana", integrada, também, por Bruno Bauer (1809-1872), Max Stirner (1806-1856), Arnold Ruge (1802-1880), Ludwig Feuerbach (1804-1872), David Strauss (1808-1874) e Moses Hess (1812-1875), que desenvolveriam, igualmente, grande atividade jornalística, política e cultural nos anos subsequentes. A influência de Hegel no pensamento de Marx é evidente na incorporação de conceitos, como os de dialética e alienação, se bem que adaptados à doutrina marxista. No posfácio da segunda edição de *O Capital*, Marx reconheceria:

[452] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

> por isso confessei-me abertamente discípulo daquele grande pensador e, no capítulo sobre o valor, até andei namorando aqui e acolá os seus modos peculiares de expressão. A mistificação que a dialética sofre nas mãos de Hegel não impede, de modo algum, que ele tenha sido o primeiro a expor suas formas gerais de movimento, de maneira ampla e consciente. É necessário invertê-la para descobrir o cerne racional do invólucro místico[453].

Essa influência não o impediu de ser, também, crítico de algumas ideias e teses hegelianas, como as do livro *Princípios da Filosofia do Direito*.

Estudioso de Economia, dedicou-se Marx a um trabalho crítico das teorias econômicas prevalecentes em sua época, principalmente dos economistas clássicos britânicos Adam Smith (1723-1790) e David Ricardo (1772-1823). Dessa longa e extenuante tarefa, Marx construiria sua obra teórica, na qual conceitos como trabalho, mercadoria, modo de produção, valor, mais-valia e papel do Estado na economia são cruciais.

O primeiro, autor de *Investigação sobre a Natureza* e *as Causas da Riqueza das Nações* (1776), construiria seu liberalismo econômico, contrário à regulamentação protetora que seria fonte de privilégios, a partir da distinção entre o valor de uso e o valor de troca das mercadorias, da teoria do valor-trabalho, da importância da produtividade do trabalho e da consequente especialização, da questão da divisão do trabalho, que depende do mercado, o qual seria limitado pelos obstáculos ao comércio interno e externo. Em sua obra, Adam Smith mostra a origem do excedente de trabalho, e como ele é usurpado pelos detentores dos meios de produção. A obra de Adam Smith é tida como representativa dos interesses do capitalismo manufatureiro de sua época, o que corresponderia ao capitalismo industrial do século XIX.

Ricardo, autor de *O Alto Custo do Ouro, Prova da Depreciação das Notas do Banco* (1810) e *Princípios de Economia Política* (1817), tratou, entre outros temas, de livre-cambismo, de renda, da teoria das vantagens comparativas e da contradição entre o valor de troca determinado pelo trabalho e o preço relativo das mercadorias.

O chamado "socialismo utópico" é considerado como tendo exercido influência inicial sobre o pensamento marxista, apesar de criticado e rejeitado mais tarde por Marx, por não defender a luta política entre as classes sociais e o papel revolucionário do proletariado nessa reforma[454]. Marx reconhecia o pioneirismo da crítica socialista à sociedade burguesa capitalista, mas reprovava seu utopismo e inadequação da proposta, que não reconhecia a luta de classes. Críticos da sociedade

[453] ANDERY, Maria Amália; SÉRIO, Tereza Maria. *Para Compreender a Ciência.*
[454] COSTA, Cristina. Sociologia. *Introdução à Ciência da Sociedade.*

burguesa, defendiam os defensores do socialismo uma mudança de regime capitalista como uma exigência do momento histórico, por meio da conscientização popular dentro dos pressupostos democráticos vigentes

É necessário salientar, no entanto, que mais importante que essas mencionadas influências foi o papel fundamental de Friedrich Engels (1820-1895) como colaborador, interlocutor, coautor, companheiro de lutas políticas e amigo de todas as horas de Karl Marx[455], a ponto de ser impossível dissociá-lo das atividades políticas, das formulações teóricas e da vida familiar, pessoal e social de Marx. Além dos livros, os numerosos artigos, panfletos, declarações, cartas e manifestos, escritos ou não em parceria, refletem essa total e íntima colaboração entre esses dois formuladores da doutrina e ativistas do movimento comunista. A comunhão intelectual, a fidelidade programática e a identidade de propósitos desses dois combativos pensadores revolucionários constituem um exemplo único de longa e ampla cooperação mútua, entre iguais, desprovida de ciúme, inveja, ressentimento e competitividade, na história do pensamento humano.

6.23.1.2.1.2 Fundamentos Doutrinários

O pensamento marxista se constitui numa doutrina em que certos conceitos e princípios fundamentais, do âmbito da Filosofia, da Economia, do Direito, da Sociologia, da Psicologia e da Filosofia da História, entre outros, devem ser explicitados antes do tema específico da Sociologia do filósofo e economista alemão. Dessa forma, seguem abaixo alguns esclarecimentos sobre esses conceitos, conforme seu significado, segundo Marx.

No conceito moderno de Dialética de Hegel, tudo no Universo é movimento e transformação, sendo que a transformação do espírito é que transformaria a matéria, em três momentos sucessivos – tese, antítese e síntese. A Dialética seria interpretada por Marx como um processo em que as transformações das coisas é que determinariam as modificações em nosso espírito. A tensão entre os opostos é buscada nas tensões da realidade histórica e social. A versão materialista de Marx se aplicaria, assim, ao movimento contraditório do sistema econômico na História da Humanidade. As teses fundamentais da dialética marxista, como explica Aron, seriam: 1) a lei do real é a lei da transformação. Existe uma transformação incessante tanto na natureza inorgânica quanto no universo do Homem; portanto, não há um princípio eterno; as concepções

[455] ANDERY, Maria Amália; SÉRIO, Tereza Maria. *Para Compreender a Ciência.*

humanas e morais se transformam de época para época; 2) o Mundo real comporta uma progressão qualitativa que vai da natureza inorgânica até o Mundo humano e, no Mundo humano, dos regimes sociais até o regime que marcará o fim da Pré-história, isto é, o socialismo; e 3) essas mudanças ocorrem de acordo com determinadas leis abstratas. As mudanças quantitativas, a partir de certo ponto, se tornam mudanças qualitativas que se realizam por meio de uma mudança revolucionária. Assim, escreveu Aron, "a dialética da História é constituída pelo movimento das forças produtivas, que entram em contradição, em certas épocas revolucionárias, com as relações de produção, isto é, tanto as relações de propriedade como a distribuição de renda entre os indivíduos ou grupos da coletividade"[456]. Tais transformações obedeceriam à "lei da contradição", segundo a qual, no campo social e histórico, a contradição inerente ao capitalismo industrial explicaria os atuais conflitos socais e a futura transformação da sociedade capitalista numa sociedade comunista.

O conceito de "lei" nas Ciências naturais e na Sociologia é adotado por Marx, que, no entanto, estabeleceria uma importante distinção. Enquanto aceita leis invariáveis e permanentes nas Ciências Naturais, negaria que as leis que regem os fenômenos sociais sejam sempre as mesmas, no passado e no presente; ao contrário, essas leis abstratas não existem, "cada período histórico possui suas próprias leis. Assim que a vida já esgotou determinado período de desenvolvimento, tendo passado de determinado estágio a outro, começa a ser dirigido por outras leis"[457]. Tais leis seriam, assim, específicas e resultantes de cada período histórico, intrínsecas ao funcionamento do mecanismo histórico e nunca imutáveis:

> os mesmos homens que estabelecem as relações sociais, de acordo com a sua produtividade material, produzem também os princípios, as ideias e as categorias, de acordo com suas relações sociais. Assim, estas ideias e estas categorias são tão pouco eternas quanto as relações que exprimem. São produtos históricos e transitórios. Há um movimento contínuo de aumento das forças produtivas, de destruição nas relações sociais, de formação nas ideias; de imutável não existe senão a abstração do movimento[458].

O conceito, não no sentido psiquiátrico, de "alienação", derivado da Filosofia de Hegel, surgiria em Marx como processo em que o ser humano se afasta de sua real natureza, torna-se estranho a

[456] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[457] MARX, Karl. *O Capital. Posfácio da 2ª edição em alemão (1873).*
[458] MARX, Karl. *Miséria da Filosofia.*

si mesmo na medida em que já não controla sua atividade principal (o trabalho), pois o que produz adquire existência independente de seu poder. Assim, a industrialização, a propriedade privada e o salário alienam o trabalhador tanto dos meios de produção – ferramentas, matéria, terra, máquinas – que se tornaram propriedade do capitalista, quanto do fruto de seu trabalho. A alienação do Homem tem, também, uma dimensão de natureza política, oriunda do liberalismo, que criou a ideia falsa da imparcialidade do Estado, que, na realidade, na sociedade de classes representa apenas a classe dominante e age de acordo com seus interesses. A divisão de trabalho é igualmente responsável pela alienação do Homem, pois é parcial e reflete necessariamente o pensamento de grupo. Portanto, os produtos de sua atividade econômica, política, social e espiritual passam a existir como realidade independente, chegando a dominar e a oprimir o Homem. Uma vez alienado, o Homem só pode recuperar sua condição humana "pela crítica radical ao sistema econômico, à Política e à Filosofia que o excluíram da participação efetiva da vida social"[459].

Os conceitos de "classes sociais" e "luta de classes" são essenciais na doutrina marxista, uma vez que sua Sociologia é baseada na luta de classes, na luta constante entre interesses opostos, na divisão da Sociedade em classes inimigas. A primeira frase do *Manifesto Comunista* (1848) é a de que a história de todas as sociedades é a história da luta de classes:

> ...Homem livre e escravo, patrício e plebeu, barão e servo, mestre de ofício e companheiro, numa palavra, opressores e oprimidos se encontraram sempre em constante oposição, travaram uma luta sem trégua, ora disfarçada, ora aberta, que terminava sempre por uma transformação revolucionária de toda a Sociedade, ou então pela ruína das diversas classes em luta[460].

Os proprietários da simples força de trabalho, os do capital e os da terra, cujas fontes de renda são, respectivamente, o salário, o lucro e a renda, isto é, os trabalhadores assalariados, os capitalistas e os latifundiários, formam as três grandes classes da sociedade moderna, baseada no sistema capitalista de produção[461]. Marx, em diversas passagens de outros escritos, considera, no entanto, que a classe dos latifundiários é, atualmente, "perfeitamente supérflua", tanto mais que os "próprios burgueses se vêm convertendo em latifundiário... O capitalista e o assalariado são os únicos

---

[459] COSTA, Cristina. *Sociologia, Introdução à Ciência da Sociedade.*
[460] MARX, Karl; ENGELS, Friedrich. *Manifesto Comunista.*
[461] MARX, Karl. *O Capital.*

agentes e fatores da produção cujas relações e antagonismo emanam da própria essência do regime de produção capitalista"[462].

A distinção entre as classes é função, assim, da estrutura econômica, das relações de produção do sistema. O principal critério é o modo de inserção no sistema produtivo, no qual a propriedade desempenha papel importante. Essa desigualdade é responsável pela formação da classe social, que não é mero agregado de indivíduos com as mesmas funções, mas dependente de condições, como a consciência de destino comum, inimigo comum e organização, para sua mobilização com vistas à ação política. Marx rejeita, portanto, uma interpretação subjetiva de "classe" para adotar critérios objetivos para a constituição de classe, como a do acesso a recursos. Engels, em *Princípios do Comunismo*, de 1847, definiria o proletariado como a classe social que vive inteiramente da venda de seu trabalho, que não recebe nenhum lucro de qualquer tipo de capital, e cuja existência depende da demanda de trabalho; o proletariado é a classe dos trabalhadores do século XIX.

Marx alegaria não lhe caber o mérito de haver descoberto a existência das classes, nem a luta das classes entre si, pois historiadores e economistas burgueses já tinham descrito o desenvolvimento histórico dessa luta de classes, e haviam mostrado sua anatomia econômica. Marx acrescentaria, no entanto,

> o que fiz de novo foi: 1°) demonstrar que a existência das classes só está ligada a fases de determinado desenvolvimento histórico da produção, 2°) que a luta das classes conduz necessariamente à ditadura do proletariado, e 3°) que essa ditadura constitui apenas a transição para a abolição de todas as classes e para uma sociedade sem classes. (carta a Joseph Weydemeyer, em 5 de março de 1852).

A desigualdade social cria uma relação de exploração da classe capitalista, detentora do lucro, sobre a do proletariado assalariado. Tal exploração tem sua raiz na "propriedade privada", que obriga o trabalhador, para sobreviver, a vender sua força de trabalho ao empresário capitalista, que se apossa do produto do trabalho. Há uma contradição fundamental entre os assalariados e os capitalistas. A relação conflituosa, inconciliável e antagônica entre essas duas classes se reflete no interesse do capitalista em aumentar seu lucro, pela redução do salário, ou aumento da jornada de trabalho do assalariado; e no do proletariado, de reduzir ou eliminar essa exploração. Por ser causa desse conflito de interesses, somente com a eliminação da propriedade privada dos meios de produção será possível a criação de uma sociedade igualitária, logo, sem classes sociais.

---

[462] MARX, Karl. *História Crítica da Teoria da Mais-Valia.*

O conceito de "ideologia de classe" está presente em toda obra de Marx, que sustenta ser sempre predominante em determinada época a ideologia da classe dominante, o que significa, também, que exerce o poder material e o poder espiritual na Sociedade.

> A classe que tem à sua disposição os meios para a produção material dispõe com isso, ao mesmo tempo, dos meios para a produção espiritual... as ideias dominantes não são outra coisa que a expressão ideal das relações materiais dominantes, as mesmas relações materiais dominantes concebidas como ideias; portanto, as relações que fazem de uma determinada classe a classe dominante são também aquelas que conferem o papel dominante às suas ideias... por exemplo, numa época e num país onde a Coroa, a aristocracia e a burguesia disputam o poder entre si, no qual se acha, portanto, dividida a dominação, se impõe como ideia dominante a doutrina da divisão de poderes, proclamada agora como lei eterna...[463].

No interior da classe dominante pode ocorrer uma divisão de trabalho, entre o físico e o intelectual, em que uma parte dessa classe fornece os pensadores, cujas ideias são aceitas passivamente. Prosseguem Marx/ Engels, afirmando que cada nova classe dominante procura apresentar e impor suas ideias como as únicas racionais e dotadas de vigência absoluta.

O Estado é, portanto, o instrumento da dominação de uma classe e seu regime político é definido pela classe dominante[464]. Sua existência se justifica apenas numa Sociedade antagônica, como a capitalista. O poder público, que é o poder organizado de uma classe para a pressão de uma outra, perderá seu poder político quando os antagonismos de classes tiverem desaparecido[465]. Numa Sociedade econômico-social não antagônica, em que não haja dominação de classe, o Estado desaparece por ser desnecessário. Na realidade, o que desaparece é o Estado opressor, de caráter político, para se transformar num "mero administrador de coisas". Desta forma, a ordem política se reduz à econômica, sendo "reformulado" o Estado a partir da imposição da propriedade coletiva dos meios de produção. Antes, porém, de atingir essa etapa, Marx sustenta a existência de uma fase de transição política "em que o Estado só poderia ser a ditadura revolucionária do proletariado"[466].

O conceito de "materialismo histórico" (expressão criada por Engels) se constitui na doutrina que estuda o processo histórico universal

---

[463] MARX, Karl; ENGELS, Friedrich. *A Ideologia Alemã.*
[464] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[465] MARX, Karl; ENGELS, Friedrich. *Manifesto Comunista.*
[466] MARX, Karl. *Crítica do Programa do Gotha.*

como derivado do trabalho humano, em sua finalidade de satisfazer as necessidades econômicas da Sociedade (alimentação, habitação, vestimenta, etc.) e na luta entre as classes sociais para se apropriar dos instrumentos e frutos da produção. Engels, em 1880, explicaria esse conceito:

> A concepção materialista da História começa com a proposição de que a produção dos meios de apoio da vida humana e, depois da produção, a troca das coisas produzidas são a base de toda a estrutura social em todas as Sociedades que surgiram na História; o modo pelo qual a riqueza é distribuída e a Sociedade dividida em classes ou ordens depende do que é produzido, como é produzido e como os produtos são trocados. Desse ponto de vista, as causas finais de todas as mudanças sociais e das revoluções políticas devem ser procuradas, não no cérebro dos homens e na sua visão por uma vida eterna e justa, mas nas mudanças dos modos de produção e troca[467].

O regime de produção determina as relações morais, políticas, jurídicas e sociais, que são, portanto, independentes da vontade humana.

A economia é, portanto, a base da organização social. Uma Sociedade, numa determinada época histórica, tem um modo de se organizar para produzir e distribuir sua produção. A estrutura da Sociedade reflete, então, a organização da produção social de bens, que contém dois fatores básicos, as forças produtivas (trabalho, físico ou intelectual; objeto ou matéria-prima; e meios ou instrumentos de produção) e as relações de produção (escravista, cooperativista e capitalista); tais fatores básicos são fatores da luta de classes[468].

A forma como esses fatores se apresentam numa Sociedade é o que Marx denominou de "modo de produção", que condiciona o processo de vida social, política e espiritual. O conceito de modo de produção é fundamental na Sociologia marxista, porque ilustra, por meio da desigualdade de propriedade, as bases das relações de produção, que explicam as várias etapas da organização e funcionamento da Sociedade. Sua visão da história da Humanidade é por meio do modo de produção. Nessa base, Marx identificou, como épocas progressivas da formação econômica da Sociedade, quatro modos específicos de produção: o "asiático", o "antigo", o "feudal" e o "burguês moderno", sendo que as relações burguesas constituem a última forma antagônica do processo social de produção e encerram a Pré-história da Sociedade humana[469].

---

[467] ENGELS, Friedrich. *Socialismo: Utópico e Científico.*
[468] MARX, Karl. *O Capital.*
[469] MARX, Karl. *Contribuição para a Crítica da Economia Política.*

O modo de produção asiático prevaleceu na China, no Egito, na Mesopotâmia e nas culturas pré-colombianas. Sociedades formadas por senhores, escravos e camponeses, todos subordinados ao poder temporal e espiritual, a produção pertencia ao Estado. Os modos de produção antigo, feudal e burguês se sucederam na História do Ocidente. O modo de produção antigo se caracteriza pela escravidão, em que o senhor é o proprietário da força de trabalho e dos meios de produção, a vida é urbana, a cidade é o centro da comunidade, mas baseado na propriedade da terra, surge o Estado para garantir o interesse dos proprietários; os indivíduos mantêm relações de localidade e não de consanguinidade; Grécia e Roma são exemplos típicos desse modo de produção. No modo de produção feudal, que predominou na Europa ocidental durante a Idade Média, a característica é a servidão, em que o senhor, proprietário dos meios de produção (terra e instrumentos de produção), não é dono do servo ou força de trabalho. O modo de produção burguês, o atual, é o do trabalho assalariado, última forma social antagônica. Esse modo se caracteriza pela propriedade privada dos meios de produção pela burguesia e pelo proletariado assalariado, que substitui o trabalho servil feudal. Os proprietários são donos do capital e dos meios de produção.

Infraestrutura (base econômica) e superestrutura jurídica e política são conceitos utilizados com frequência na Sociologia marxista. A infraestrutura, base material ou econômica de uma Sociedade ou de uma organização, se constituiria das forças produtivas, dos conhecimentos científicos e técnicos, da indústria e da organização do trabalho, ou, em outros termos, da economia, em particular. O conjunto das relações de produção forma a estrutura econômica da sociedade, o fundamento real sobre o qual se assenta uma superestrutura jurídica e política[470], da qual formam parte o Estado, o Direito e a Religião. Os valores sociais e culturais são superestruturas, consequências dos valores econômicos.

6.23.1.2.1.3 Sociologia Marxista

A obra mais representativa do pensamento de Marx e mais importante do ponto de vista da Economia e da Sociologia é *O Capital*, em três livros ou volumes, nos quais o autor, no dizer de Aron, tratou de Economia Política, de Sociologia do Capitalismo e de História filosófica da Humanidade. Nela, Marx pretende explicar o funcionamento do sistema capitalista, com base na sua estrutura social, e o desenvolvimento desse

[470] MARX, Karl. *O Capital.*

sistema, com base em seu modo de funcionamento[471]. O primeiro livro foi o único publicado (1867) por Marx, já que os dois outros são póstumos, extraídos dos volumosos manuscritos deixados pelo autor e editados por Engels, em 1889, o segundo, e, em 1894, o terceiro, respectivamente. Dentre outras obras representativas de seu pensamento econômico e sociológico, estão *Valor, Preço e Lucro* (1865), *Contribuição para a Crítica da Economia Política* (1859), *Manifesto Comunista* (1848), *Miséria da Filosofia* (1847) e A *Ideologia Alemã* (1845).

A Sociologia, ou a concepção do capitalismo, de Marx, está associada à combinação de conceitos, noções e princípios como de forças de produção, relações de produção, modo de produção, luta de classes, consciência de classes, infraestrutura e superestrutura[472].

A Sociologia de Marx é a sociologia da luta de classes, inevitável no antagônico e contraditório regime capitalista, do conflito entre capital e trabalho. Todos os fenômenos sociais, morais, políticos, culturais e de qualquer outra natureza têm causa econômica, a qual está determinada por leis específicas, próprias do modo de produção (escravidão, servidão, assalariado) que caracteriza o período histórico (antigo, feudal, burguês). Cada regime econômico tem suas próprias leis, pelo que não há lei universalmente válida. As leis econômicas clássicas são leis do regime capitalista. Não se pode compreender, no entanto, um regime econômico não tomando em consideração sua estrutura social, cuja expressão é a lei econômica.

Como afirma Marx,

> a vida econômica nos oferece um fenômeno análogo ao da história da evolução em outros ramos da Biologia. Os antigos economistas interpretaram mal a natureza das leis econômicas quando a compararam às leis físicas e químicas. Uma análise mais profunda dos fenômenos mostra que os organismos diferem entre si como, fundamentalmente, as plantas ou os animais.

E pouco mais adiante: "o valor científico de tal pesquisa está em reconhecer as leis especiais que regulam a origem, a existência, o desenvolvimento e a morte de um determinado organismo social e sua substituição por outra" [473].

Na Sociologia marxista, o método é fundamental para o conhecimento não especulativo do que é real, daquilo que é constitutivo

[471] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[472] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[473] MARX, Karl. *O Capital, Posfácio da 2ª edição alemã (1873).*

do fenômeno, deixando de ser uma mera coleta de dados empíricos abstratos. O método para Marx (*Contribuição para a Crítica da Economia Política*) deve permitir descobrir o real, o que está atrás da aparência do fenômeno e o que o determina, buscar a lei de transformação do fenômeno, investigar as relações e conexões desse fenômeno com a totalidade que o torna concreto, reconhecendo o momento de análise como o momento de abstração[474]. Tal método leva à produção de um conhecimento científico, o qual envolve prática e teoria.

Marx se propõe, no conjunto de sua obra, a essa tarefa de analisar o desenvolvimento e a História da Humanidade por meio do modo de produção, em particular as características econômicas, políticas, sociais, ideológicas e culturais do regime capitalista, bem como descobrir as leis próprias a cada um dos períodos econômicos. Com esse intento, rejeitaria Marx a concepção idealista da História, "mantendo-se sempre sobre o terreno histórico real, de não explicar a prática partindo da ideia, de explicar as formações ideológicas sobre a base da prática material"[475].

Para explicar o funcionamento do capitalismo, Marx escreveria *O Capital*, extenso estudo de microeconomia (trabalho, mercadoria, salário, lucro, mais-valia), do qual ressaltam suas teorias do lucro, do valor do salário e da mais-valia.

Toda atividade desenvolvida pelo ser humano é uma forma de trabalho (manual ou intelectual, qualificado ou não qualificado), do que resulta a produção de bens e serviços. No regime capitalista, o trabalho é uma mera mercadoria, que o operário vende, a fim de assegurar sua sobrevivência, ao empresário-capitalista, que se apropria, assim, do produto da força de trabalho, por meio do "salário". Mas o trabalho é uma fonte de riqueza, de criação de valor. A produção de um bem incorpora a participação de uma série de habilidades profissionais distintas, pelo que seu valor incorpora os tempos de trabalho específicos. O valor desses trabalhos está embutido no preço pago pelo capitalista ao adquirir as matérias-primas e os instrumentos de produção, os quais são incorporados ao salário; ou, em outras palavras, o salário equivale à quantidade de trabalho social necessário para produzir mercadorias indispensáveis ao trabalhador e à sua família[476]. O valor do trabalho é, assim, quantificável, pode ser medido, e serve, portanto, como base do valor da mercadoria.

Em consequência, o valor de qualquer mercadoria é proporcional à quantidade de trabalho social médio nela contida, em que está

---

474 ANDERY, Maria Amália; SÉRIO, Tereza Maria. *Para Compreender a Ciência.*

475 MARX, Karl. *A Ideologia Alemã.*

476 ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

implícito que as mercadorias só têm valor na medida em que existe demanda por elas, e que a proporcionalidade pressupõe uma demanda normal da mercadoria.

Ocorre, porém, que o tempo de trabalho necessário para produzir um valor igual ao que recebe como salário é inferior à duração efetiva de seu trabalho, o que significa, na realidade, que o assalariado trabalha parte do tempo para si e parte para o empresário; ou seja, na jornada de trabalho, o trabalhador produz mais mercadorias que geram um valor maior do que lhe foi pago na forma de salário[477]. Esse valor adicional não retorna ao assalariado, não é distribuído aos trabalhadores, pois é incorporado ao valor do produto, que é apropriado pelo empresário. É a "mais-valia", decorrente da diferença entre a jornada de trabalho e o trabalho necessário. A fim de aumentar a "mais-valia" à custa do operário, o capitalista pode recorrer ao prolongamento da jornada de trabalho ou à redução do trabalho, por meio do aumento da produtividade, isto é, produzir o valor igual ao do salário num tempo mais curto. A teoria da mais-valia corresponde a uma teoria da exploração que, segundo Aron, dá uma base sociológica às leis econômicas, próprias do regime capitalista[478].

Para que o capitalismo funcione, a taxa de lucro do empresário, segundo Marx, corresponde ao conjunto do capital (constante e variável) e não à mais-valia. Há, assim, uma taxa de lucro média em cada economia, formada pela concorrência entre as empresas e os setores da economia. A concorrência força o lucro a atingir uma taxa média. Se um determinado setor tiver uma taxa de lucro muito superior a de outro setor, não haverá interesse de investir capital nos setores de baixa taxa de lucro.

Adicionalmente, o lucro médio é proporcional ao capital, isto é, ao total do capital constante e do capital variável, enquanto a mais-valia resulta apenas do capital variável, vale dizer, do trabalho humano. Como a relação entre esses dois componentes do capital total se altera com a evolução do capitalismo, sendo que a parte do capital variável tende a diminuir em relação ao capital total, haveria a tendência para a taxa de lucro baixar. É a "lei da tendência para baixo da taxa de lucro".

A partir dessa análise do funcionamento do capitalismo (acumulação do capital, mecanização da produção, redução da parte do capital variável, baixa da taxa de lucro), consideraria Marx inexorável a autodestruição do sistema econômico baseado no lucro, ou seja, o fim do capitalismo.

---

477 COSTA, Cristina. *Sociologia, Introdução à Ciência da Sociedade.*
478 ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

6.23.1.2.2 A Sociologia na Alemanha

Na Alemanha, a Sociologia, que teria no primeiro quartel do século XX seu primeiro grande expoente no vulto de Max Weber (que publicaria, em 1896, *A Sociologia Agrária das Civilizações Antigas*), contaria com as contribuições de alguns estudiosos, cujas obras foram bastante divulgadas e apreciadas na época. Paul von Lilienfeld (1829-1903), autor de *Pensamentos sobre a Ciência Social no Futuro*, e Albert Schaffle (1831-1903), influenciado pelo idealismo alemão (Hegel, Schelling) e pelas ideias positivistas de Comte e Darwin, escreveu *A Quinta-Essência do Socialismo* (1875) e *Estrutura e Vida do Corpo Social* (1875/78), em quatro volumes, sua principal obra. O geógrafo Friedrich Ratzel (1844-1903), professor da Universidade de Leipzig, autor de *Antropogeografia* (1882/91) e de *Geografia Política* (1897) e chefe da Escola sociológica do determinismo geográfico, sustentava ser o meio físico (solo, clima, topografia, rios, etc.) o determinante da organização e evolução das Sociedades.

Outros importantes e influentes sociólogos alemães, mas cujas obras mais significativas seriam escritas no século seguinte, foram: Ferdinand Tönnies (1855-1936), cofundador da Sociedade Alemã de Sociologia, editor das obras de Hobbes e autor de *Comunidade e Sociedade* (1887), além de *Opinião Pública*, em 1922, *Estudos e Críticas Sociológicas*, em três volumes (1924-1926-1929), e *Introdução à Sociologia*, em 1931; Georg Simmel (1858-1918), autor de *Sobre a Diferenciação Social* (1890), *Problemas da Filosofia da História* e *Ciência da Ética*, ambos de 1892-1893, *Filosofia do Dinheiro* (1900), *Sociologia: Investigações sobre as Formas de Associação* (1918) e *Questões Fundamentais de Sociologia* (1917); e Werner Sombart (1863-1941), autor de *O Moderno Capitalismo* (1902) e *Por que não há Socialismo nos Estados Unidos?* (1906).

6.23.1.3 Desenvolvimento da Sociologia na França e Durkheim

A Sociologia é considerada, por muitos, como uma Ciência francesa, não por ter sido fundada por Comte, mas pela valiosa e pioneira contribuição de seus estudiosos ao pensamento sociológico e à estruturação de uma independente e autônoma Ciência, com seus objetivos e métodos próprios. A influência positivista no desenvolvimento da nova Ciência, na segunda metade do século XIX, na França, seria marcante e decisiva.

Desde o início do século, porém, os chamados "socialistas utópicos", em especial Fourier, Saint-Simon e Proudhon, se notabilizaram por suas ideias e teorias para enfrentar a questão social, agravada com os

efeitos da Revolução Industrial. Suas propostas e ação política no sentido de "justiça social" tiveram muita repercussão em toda a Europa, com influência nos movimentos liberais e sociais da época.

Nesse mesmo período, Alexis de Tocqueville (1805-1859), após estudar o regime político dos Estados Unidos da América, em sua viagem aquele país (1831/32), se tornaria o grande arauto do regime democrático e liberal, e defensor dos Direitos humanos e da Liberdade. Escreveria *A Democracia na América* (1835), na qual explicaria as bases políticas, sociais, econômicas, geográficas e tecnológicas do desenvolvimento da sociedade americana, e exporia a importância do princípio federativo e da harmonia entre religião e liberdade naquele país. Em sua obra, Tocqueville é crítico da escravidão, da discriminação racial e do latente problema norte-sul, que punham em perigo a estabilidade do regime democrático americano[479]. Em *O Antigo Regime e a Revolução* (1856), Tocqueville analisaria sociologicamente os acontecimentos recentes da História francesa, cuja crise resultava da falta de liberdade política, da concentração do poder político e econômico na região de Paris, da desunião entre as diversas classes, da omissão dos intelectuais nos assuntos de Estado e de sua ignorância dos problemas reais da Sociedade.

Seria, igualmente, muito atuante e influente, em meados do século, Pierre Guillaume Frédéric Le Play (1806-1872), engenheiro, que, encarregado de estudar a indústria metalúrgica, manteve contatos no meio operário francês e de diversos países europeus e passou a analisar, em monografias, a situação dos trabalhadores e suas famílias. Extremamente ativo no trabalho de campo, Le Play chegou a preparar cerca de 300 desses estudos, com informações sobre ordenado, orçamento familiar, número de filhos, nível de educação dos familiares, modo de vida, alcoolismo, despesas pessoais e da família, atividade profissional, etc[480]. Autor de *Os Operários Europeus* (1855), conjunto de 36 monografias na base dos dados coletados, Le Play é o chefe da "Escola sociológica da reforma social", que considera: i) o meio físico (clima, solo e demais fatores geográficos) como determinante da forma de trabalho preponderante numa região; ii) a família como a célula da Sociedade, a unidade social; e iii) a família operária como o tipo fundamental das famílias, por viver mais em contato com o meio físico que uma família abastada. Seu método de pesquisa social (análise, comparação e classificação a partir do estudo da família) teria grande influência entre os sociólogos. Le Play escreveu, ainda, *A Reforma Social na França* (1864) e *A Constituição da Inglaterra* (1875).

[479] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[480] GIRAUD, Claude. *Histoire de la Sociologie.*

Henri de Tourville (1842-1903) é o mais conhecido adepto da "Escola da reforma social", tendo criado, com o objetivo de facilitar a pesquisa, a famosa "nomenclatura social", da qual constava pormenorizada orientação de inquérito para os fenômenos sociais, em vinte e cinco diferentes divisões fundamentais (lugar da família, ocupação, propriedade do imóvel e dos bens, salário, renda, nível de instrução, religião) e 326 subdivisões. O método permitia estudar, sucessivamente, os fenômenos econômicos, políticos, culturais e religiosos em círculos cada vez maiores, até abranger a cidade, a província, o Estado e a Sociedade[481]. Como Le Play, deu Tourville grande impulso à pesquisa de campo.

O aristocrata e diplomata Joseph Arthur, conde de Gobineau (1816-1882), desenvolveu no *Ensaio sobre a Desigualdade das Raças Humanas* (1853-1855) sua famosa teoria da superioridade da raça ariana sobre as demais. Defendeu a raça como criadora da cultura e a constituição de impérios como responsável pela miscigenação e degeneração racial, processo que chamava de "semitização"; assim, os povos semitas seriam uma mistura das raças branca, negra e amarela.

Émile Littré (1801-1881), filólogo, autor de célebre dicionário da língua francesa (1863-1873) e de uma série de artigos sobre a história da língua francesa, editor de Hipócrates (1839/61) e da *História Natural*, de Plínio (1848-1850), tradutor de uma *Vida de Jesus* (1839-1840), formado em Medicina, escreveu *Medicina e Médicos* (1871), eleito membro da Academia de Letras em dezembro de 1871 e senador em 1875, tornou-se amigo e admirador de Augusto Comte e adepto do Positivismo. Nesse campo, escreveu vários artigos e livros, como *Análise do Curso de Filosofia Positiva* (1845), *Aplicação da Filosofia Positiva ao Governo* (1849), *Conservadorismo, Revolução e Positivismo* (1852), *Augusto Comte e a Filosofia Positiva* (1863), *A Ciência do ponto de vista filosófico* (1873) e *Fragmentos de Filosofia e de Sociologia Contemporânea* (1876).

Gabriel Tarde (1843-1904), magistrado, sociólogo e psicólogo social, fundador da "Escola Psicológica", é autor, entre outros livros, de *As Leis da Imitação* (1890), *A Transformação do Direito. Estudo Sociológico* (1891), *Monadologia e Sociologia* (1893), *A Lógica Social* (1895), *As Leis Sociais. Esboço de uma Sociologia* (1898), *Escritos de Psicologia Social* (1898). A Sociologia, segundo Tarde, era baseada nas pequenas interações psicológicas entre indivíduos, cujas forças mais importante seriam a imitação e a inovação. Essa teoria significaria introduzir o fato psicológico na Sociologia, opondo-se à aplicação, sustentada por Spencer e Durkheim, das leis e teorias biológicas. Para Tarde, os fenômenos sociais se reduzem à "crença"

[481] FONTOURA, Amaral. *Introdução à Sociologia.*

e ao "desejo", fatos psicológicos que se realizam por meio da imitação (consciente ou inconsciente), fenômeno psicológico ao qual se enquadram todos os fenômenos sociais. Os fatos sociais são modalidades dos fatos psicológicos, são resultantes dos fatores psicológicos, pelo que as leis da Sociedade não são, nem podem ser diferentes daquelas que regem os indivíduos. A Sociedade não tem existência real fora dos indivíduos que a compõem. Assim, o fato social é derivado do "psico-individual", isto é, corresponderia ao resultado da ação que liga o pensamento de dois ou mais indivíduos entre si. O método utilizado é o da análise dos elementos psicológicos (desejo, sugestão, imitação), presentes nos fatos sociais, que são consequência daqueles elementos.

O psicólogo e sociólogo Gustave Le Bon (1841-1931), que sustentaria em seus trabalhos opiniões afins às de Tarde, é autor de *Psicologia das Massas* (1895). A Escola psicológica em Sociologia teve bastante repercussão nos meios intelectuais no final do século, mas perderia prestígio após a morte prematura de Tarde e as críticas de Durkheim.

Alfred Espinas (1844-1922) é autor de estudo de Psicologia Comparada em *As Sociedades Animais* (1877), de *História das Doutrinas Econômicas* (1891), de *As Origens da Tecnologia* (1897) e de *A Filosofia Social do Século XVIII e a Revolução* (1898). É considerado como pertencente à Escola sociológica "organicista", segundo a qual a Sociedade é um organismo, não havendo solução de continuidade entre o organismo social e biológico. Professor de Sociologia na Sorbonne, Espinas foi um dos pioneiros na introdução desta matéria no curso universitário francês. Durkheim escreveria[482] que foi

> o primeiro a estudar os fatos sociais com o objetivo de fazer Ciência e não para assegurar a simetria de um grande sistema filosófico. Ao invés de se ater às visões de conjunto da sociedade em geral, limitou-se ao estudo de um tipo social em particular; depois, no interior desse próprio tipo, distinguiu classes e espécies, descrevendo-as com cuidado e é dessa observação atenta dos fatos que induziu algumas leis, cuja generalidade restringiu cuidadosamente à ordem especial dos fenômenos que acabava de estudar. Seu livro constitui o primeiro capítulo da Sociologia.

Outro sociólogo francês considerado como organicista é René Worms (1869-1926), professor de Direito e autor de *Organismo e Sociedade* (1896). Importante contribuição para a ciência sociológica seria sua iniciativa de fundação, em 1893, da *Revista Internacional de Sociologia*, da

[482] DURKHEIM, Émile. *Aula Inaugural do Curso de Ciências Sociais (1887).*

Biblioteca Internacional de Sociologia e do Instituto Internacional de Sociologia, instituições destinadas à pesquisa e à divulgação sociológicas.

6.23.1.3.1 Obra Sociológica de Durkheim

Na História da Sociologia no século XIX, Émile Durkheim ocupa um lugar especial, de grande relevância. Sua importante contribuição, tanto teórica e conceitual quanto metodológica, para o desenvolvimento dessa nova Ciência, coloca-o, na opinião de muitos autores, dentre seus fundadores. Fundada por Comte como Ciência independente da Filosofia e da História, com o propósito de estudar a evolução da Sociedade humana por critérios científicos, a Sociologia não contava, contudo, com um corpo sistemático de conhecimento e de uma metodologia específica. A obra de Durkheim, que se origina na obra de Comte[483], conforme está explícito em sua aula inaugural do Curso de Ciências Sociais (1887) em Bordeaux[484], contribuiria de forma decisiva para a afirmação da Sociologia como Ciência autônoma e para sua ampla divulgação nos meios acadêmicos e intelectuais. Nesse sentido, pode Durkheim ser considerado o principal expoente da Sociologia positiva, utilizando a Biologia, como Spencer, como modelo de Ciência para a Sociologia.

6.23.1.3.1.1 Nota Biográfica e Bibliográfica

Émile Durkheim (1858-1917), de origem judaica de classe média, fez seus primeiros estudos em escola de sua cidade natal (Épinal), continuados em Paris, no prestigioso Liceu Louis-Le-Grand e na Escola Normal Superior, onde se formou, em 1884. Lecionou Filosofia, em seguida, nos liceus de Sens, Saint-Quentin e Troyes, dedicando-se ao estudo das obras de Herbert Spencer e Alfred Espinas, sociólogos que teriam influência nesses anos de sua formação intelectual. Com um ano de licença (1885/86) de suas atividades no magistério, manteve contato direto com o laboratório de Psicologia experimental de Wilhelm Wundt (1832-1920), em Leipzig, com quem estudaria Antropologia e Psicologia dos povos, quando resolveu dedicar-se às Ciências Sociais. Em 1887, foi nomeado, em substituição a Alfred Espinas, professor de Pedagogia e de Ciências Sociais na Faculdade de Letras da Universidade de Bordeaux, no

[483] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

[484] DURKHEIM, Emile. *Aula Inaugural do Curso de Ciências Sociais (1887).*

primeiro curso (transformado em cátedra, em 1896) de Sociologia criado no ensino superior francês.

Em 1898, fundaria a revista *L'Année Sociologique*, órgão representativo da Escola Sociológica Francesa e orientadora do pensamento e das pesquisas sociológicas, na qual publicaria, até seus últimos dias, uma série de artigos (família, religião, educação), que seriam editados em 12 volumes. A Instituição estava dividida em sete departamentos, que correspondiam às áreas de pesquisa: Sociologia geral, Sociologia religiosa, Sociologia moral e jurídica, Sociologia criminal e estatística moral, Sociologia econômica, Morfologia social (Geografia humana, Demografia e agrupamentos rurais e urbanos) e Diversos (Sociologia estética, Linguística e Tecnologia). Registre-se que a atual Ciência Política não era considerada por Durkheim como do domínio da Sociologia, razão pela qual não era objeto de pesquisa específica. Seus principais colaboradores viriam a ocupar importantes posições no setor acadêmico no século seguinte, contribuindo, assim, para o desenvolvimento e divulgação da Sociologia: Celestin Bouglé (1870-1940), Paul Fauconnet (1874-1938), Georges Davy (1883-1976), Maurice Halbwachs (1877-1945), Marcel Mauss (1872-1950), Henri Hubert (1872-1927), Louis Gernet (1882-1964), René Hertz (1881-1915), François Simiand (1873-1953), Paul Huvelin (1873-1924) e Paul Lapie (1869-1927).

A partir de 1902, ensinaria Durkheim Pedagogia na Sorbonne, e, em 1906, Pedagogia e Sociologia na Faculdade de Letras de Paris. Além de um grande número de importantes artigos e de manuscritos referentes aos vários cursos que ministrara, suas contribuições mais significativas para a Sociologia são *Aula Inaugural do Curso de Ciências Sociais* (1887), *Da Divisão do Trabalho Social* (1893), *A Contribuição de Montesquieu para a Constituição da Ciência Social* (1893), *As Regras do Método Sociológico* (1895), *O Suicídio* (1897), *A Sociologia na França no Século XIX* (1900), *Sobre o Totemismo* (1902) e *As Formas Elementares da Vida Religiosa* (1912). As obras *Educação e Sociologia* e *Sociedade e Filosofia* seriam publicadas em 1922, *O Socialismo – A Doutrina Saint-simoniana*, em 1928, *Lições de Sociologia*, em 1950, *Pragmatismo e Sociologia,* em 1955, e *A Ciência Social e a Ação,* somente em 1970.

6.23.1.3.1.2 Sociologia Positiva

Antes da elaboração de sua obra fundamental, *Da Divisão do Trabalho Social*, Durkheim apresentou, de forma clara e objetiva, em seu Curso de Ciências Sociais (Bordeaux, 1887), uma circunstanciada introdução ao

estudo da Sociologia, na qual já abordaria e anteciparia seu pensamento sobre os principais temas. Na aula inaugural, expôs a origem recente da Sociologia, os pontos básicos da concepção sociológica de Comte e as contribuições de Spencer, Lilienfeld, Espinas e Schaeffle, a importância da Biologia e da Psicologia para a formação da nova Ciência, seus princípios e seus conceitos fundamentais, o método sociológico e a inadiável tarefa de sua estruturação. Segue um pequeno resumo, no qual foram aproveitadas, ao máximo, as próprias frases do professor na aula inaugural.

Todos os fenômenos naturais, submetidos a leis regulares, podem ser objeto de estudo metódico, de uma ciência positiva. Estando as Sociedades na *natureza*, devem elas obedecer, igualmente, à lei geral, segundo a qual os fenômenos evoluem de acordo com as leis respectivas. Os economistas foram os primeiros a proclamar que as leis sociais são tão necessárias quanto as físicas, mas não dispunham de conhecimento do conjunto do fato social que lhes permitisse descobrir suas leis e fundar a Sociologia[485].

Tais condições foram preenchidas por Comte, que fixaria para a Ciência Social uma realidade concreta a conhecer – a Sociedade, que, para ele, é tão real quanto um organismo vivo. A Sociedade, que não pode existir sem os indivíduos, é, no entanto, algo distinto: um todo não é idêntico à soma de suas partes, embora sem elas não seja nada. Assim, reunindo-se, os Homens formam um novo ser que tem sua própria natureza e suas leis próprias. Os fenômenos que aí se passam têm suas últimas raízes na consciência do indivíduo. No entanto, a vida coletiva não é uma simples imagem aumentada da vida individual, apresenta caracteres *sui generis*, que não podem ser previstos pela indução da Psicologia. O ser social adquire hábitos diferentes dos contraídos pelos indivíduos. Por isso, o ser social ocupa o alto da hierarquia dos seres, devido à sua maior complexidade, e porque a ordem social implica e compreende em si mesma os outros reinos da Natureza. As Sociedades têm uma característica negligenciada pelos economistas, mas básica no pensamento comteano: o "consenso universal que caracteriza quaisquer fenômenos dos corpos vivos e que a vida social manifesta necessariamente no mais alto grau" (*Curso de Filosofia Positiva*). Enquanto para os economistas, os fenômenos morais, jurídicos, econômicos e políticos correm paralelos uns aos outros, sem se tocar, e as Ciências correspondentes podem se desenvolver sem se conhecer, Durkheim esclarece que para Comte, ao contrário, os fatos sociais são tão estreitamente solidários que não podem ser estudados separadamente. Em consequência dessa aproximação, cada uma das Ciências Sociais perde em autonomia, mas ganha em vigor. Porque sentia mais a complexidade das coisas sociais, Comte estava garantido contras

485 DURKHEIM, Émile. *Aula Inaugural do Curso de Ciências Sociais (1887).*

soluções absolutas, tão a gosto dos economistas e ideólogos do século XVIII, achando que elas eram mais facilmente modificáveis, e, por conseguinte, utilmente dirigidas pela inteligência humana. Não é sem razão que a tradição faz a Sociologia datar de Augusto Comte[486].

Os fatos sociais, para Comte, continua Durkheim, são sempre e em toda parte os mesmos, variando em intensidade, e o desenvolvimento social variando em velocidade: nações selvagens e povos mais cultos são apenas estágios diferentes de uma mesma evolução. A Humanidade progride segundo a mesma lei, a lei dos três estados. Essa perspectiva comteana seria devida à imperfeição do conhecimento, à sua época, das Ciências etnológicas. Hoje, sustentou Durkheim, é impossível defender que haja uma evolução humana em toda parte idêntica a si mesma, e que todas as Sociedades são apenas variedades diversas de um único e mesmo tipo. A Humanidade não pode, escreveria Durkheim, ser comparada a um único Homem que, após ter vivido todos os séculos passados, ainda subsistiria, pois lembra mais uma imensa família cujos diferentes ramos, cada vez mais divergentes uns dos outros, teriam pouco a pouco se desprendido do tronco comum para viver uma vida própria. Finalmente, Comte aproximaria a Ciência Social da Biologia, reivindicando para a primeira um método especial, diferente do seguido nas outras Ciências positivas. A Sociologia estava, assim, anexada ao resto das Ciências mais do que integradas nelas.

Essa integração seria concretizada em definitivo por Spencer, ao afirmar categoricamente ser a Sociedade uma espécie de organismo, e como tal, nasce de um germe, evolui durante um tempo para chegar à dissolução final. É certo que tal afirmação perde seu valor se a interpretamos ao pé da letra e se exageramos sua importância. Como Lilienfeld (*Pensamentos sobre a Ciência Social do Futuro*), basta uma aproximação para dissipar todos os mistérios que ainda cercam as origens e a natureza das sociedades. Seria um erro imaginar que seria suficiente transportar para a Sociologia as leis mais conhecidas da Biologia, delimitando-as.

Se a Sociologia existe, ela tem seu método e suas próprias leis, afirmou Durkheim. Os fatos sociais não podem ser verdadeiramente explicados a não ser por outros fatos sociais, e não nos damos conta disso porque assinalamos sua semelhança aos fatos biológicos, cuja Ciência já está feita. A explicação que convém a estes não se pode aplicar exatamente para aqueles. A evolução não é uma repetição monótona, pois cada reino da Natureza manifesta alguma novidade que a Ciência deve alcançar e reproduzir, em vez de apagar. Para que a Sociologia tenha direito de existir, é preciso que haja, no reino social, algo que escape à investigação biológica.

486 DURKHEIM, Émile. *Aula Inaugural do Curso de Ciências Sociais (1887).*

Após tratar, mais rapidamente, das contribuições de Alfred Espinas e de Albert Schaeffle (1831-1903) no campo sociológico, de Adolf Wagner (1835-1917) e Gustav von Schmoller (1838-1917) em Economia Política, e de Rudolf von Ihering (1818-1892) e Albert Hermann Post (1839-1895) na criação da Sociologia do Direito, em substituição à Filosofia do Direito, Durkheim faria sua famosa afirmação de que a Sociologia "tem um objeto definido e um método para estudá-lo. O objeto são os fatos sociais, o método é a observação e a experimentação indireta, em outros termos, o método comparativo". O que é preciso fazer agora, continuaria Durkheim, é traçar os quadros gerais da Ciência e marcar suas divisões essenciais, uma vez que uma "Ciência só está verdadeiramente constituída quando se dividiu e subdividiu, quando compreende um certo número de problemas diferentes e solidários uns dos outros". Não cabe proceder a uma divisão lógica da Ciência, mas seguir aquela que se produziu naturalmente, tornando-a mais clara, "procedimento necessário no caso de uma Ciência que mal ficou adulta e cujas formas ainda têm algo de tenro e inconsistente"[487].

Na aplicação desse método, Durkheim obteve o que chamou de um inventário, que reconhece não ser completo, definitivo ou rígido, mas aberto a futuras aquisições, pois não incluiu, por exemplo, o Exército e a Diplomacia, que são fenômenos sociais, ainda não objeto de uma Ciência, nem mesmo em estado embrionário.

Durkheim apresentou o inventário em quatro pontos: i) em toda sociedade existe certo número de ideias e sentimentos comuns (lendas populares, crenças políticas, tradições religiosas, linguagem) transmitidos às gerações futuras, que asseguram a unidade e a continuidade da vida coletiva. Todos esses fenômenos são de ordem psicológica, mas não de psicologia individual, pois ultrapassam o indivíduo; por conseguinte, esses fenômenos devem ser objeto de uma Ciência especial, que pode ser chamada de Psicologia Social; ii) as proposições, cujo conjunto constitui a Moral, são como uma arte cujo objetivo é traçar para os Homens um plano de conduta ideal. A Ciência da Moral, que tem por objeto o estudo das máximas e das crenças morais como fenômenos naturais, dos quais busca a causa e as leis, deve preceder sua arte; iii) algumas dessas máximas têm tal força obrigatória que a Sociedade impede, por medidas precisas, que sejam infringidas, atribuindo tal responsabilidade a representantes especialmente autorizados. Quando assumem esse caráter imperioso, os julgamentos morais se tornam fórmulas jurídicas. Assim, como há uma Ciência da Moral, há, igualmente, uma Ciência do Direito, as quais mantêm contínuas relações. Pode-se reconhecer que há dois Direitos, um que é penal e outro que não o é, mas são utilizadas

[487] DURKHEIM, Émile. *Aula Inaugural do Curso de Ciências Sociais (1887).*

expressões mais gerais, distinguindo, de um lado, a Ciência do Direito e, do outro, a Criminologia; e iv) os fenômenos econômicos são estudados por uma Ciência já criada, mas para se tornar positiva "é preciso que renuncie a essa autonomia de que tanto se orgulhava para se transformar numa Ciência social. Tirar a Economia Política de seu isolamento para transformá-la num ramo da Sociologia não é uma simples reforma de catálogo. O método e a doutrina serão igualmente modificados"[488].

Em seguida, aplicaria Durkheim a esses grupos de fenômenos as duas grandes divisões da Biologia – "as funções de um lado, as estruturas do outro, aqui a fisiologia, ali a morfologia". O economista, do ponto de vista fisiológico, procura saber as leis da produção dos valores, de sua troca, de sua circulação, de seu consumo, enquanto, do ponto de vista morfológico, procuraria saber como se agrupam os produtores, os trabalhadores, os comerciantes, os consumidores, compararia as corporações de antigamente com os sindicatos atuais, as fábricas e as oficinas, e determinaria as leis desses modos de agrupamentos. O mesmo ocorre com o Direito.

Apesar de esta divisão ser natural, Durkheim se propôs a se ater quase que exclusivamente ao ponto de vista fisiológico, pela razão de que é no âmbito da Sociedade, cuja estrutura é bastante flexível, que o fenômeno da substituição de funções se manifesta com intensidade:

> ...a cada instante, instituições sociais, uma vez criadas, servem a fins que não estavam previstos e em funções para as quais, consequentemente, não tinham sido organizadas...é sobretudo a propósito das sociedades que é lícito dizer que a estrutura supõe a função e dela provém. As instituições não se estabelecem por decreto, mas resultam da vida social e limitam-se a traduzi-la por símbolos aparentes. A estrutura é a função consolidada, é a ação que se tornou hábito e se cristalizou[489].

Portanto, é sobretudo pelas funções que se deve proceder ao estudo das Sociedades.

6.23.1.3.1.2.1 Divisão do Trabalho Social

Poucos anos depois, Durkheim escreveria sua tese de doutorado, que, sob o título de *Da Divisão do Trabalho Social* (1893), é considerada sua

488 DURKHEIM, Émile. *Aula Inaugural do Curso de Ciências Sociais (1887).*
489 DURKHEIM, Émile. *Aula Inaugural do Curso de Ciências Sociais (1887).*

obra mais representativa. Nela, o tema central é o das relações entre os indivíduos e a coletividade.

Duas formas de solidariedade distinguem a Sociedade humana, a mecânica e a orgânica. A solidariedade mecânica, ou por semelhança, é característica das sociedades arcaicas, em que os indivíduos diferem pouco uns dos outros, dividem os mesmos sentimentos, comungam as mesmas crenças, obedecem aos mesmos valores. Na Sociedade antiga, arcaica ou primitiva, cada indivíduo é o que são os outros, na consciência de cada um predomina, em número e intensidade, os sentimentos comuns a todos, os sentimentos coletivos[490]. Essa semelhança cria a solidariedade. A solidariedade orgânica é característica da Sociedade moderna, mais evoluída e civilizada, que resulta da diferenciação dos indivíduos. O elo que une os indivíduos nesse tipo de Sociedade é uma solidariedade decorrente da consciência de exercerem papéis e funções complementares dentro do sistema social. O objetivo de Durkheim nessa obra é estabelecer a lei evolutiva referente à passagem da solidariedade mecânica para a solidariedade orgânica.

Surge, então, o conceito de consciência coletiva, definida como "o conjunto das crenças e dos sentimentos comuns à média dos membros de uma mesma sociedade forma um sistema determinado que tem sua vida própria"[491], mas com o importante esclarecimento de que é distinta das consciências individuais, pois evolui segundo suas próprias leis:

> ela é independente das condições particulares em que se situam os indivíduos. Estes passam, ela fica. É a mesma no Norte e no Sul, nas grandes e nas pequenas cidades, nas diferentes profissões. Por outro lado, não muda em cada geração, mas, ao contrário, liga as gerações que se sucedem. Portanto, não se confunde com as consciências particulares, embora se realize apenas nos indivíduos.

Nas Sociedades arcaicas, a consciência coletiva abrange a maior parte da existência individual, bem como os sentimentos coletivos. Nessas sociedades de solidariedade mecânica, a maior parte da existência é orientada pelos imperativos e proibições sociais. Os atos da existência social são definidos com precisão, o que é preciso fazer ou o que preciso crer são impostos pela consciência coletiva. Na Sociedade de solidariedade orgânica, ao contrário, há uma maior liberdade de crer, de querer e de agir, há uma redução da esfera coberta pela consciência coletiva, há um

---

490 ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

491 DURKHEIM, Émile. *Da Divisão do Trabalho Social.*

enfraquecimento das reações coletivas contra a violação de proibições e há uma margem maior na interpretação individual dos imperativos sociais.

Aliás, Durkheim retomaria o conceito de consciência coletiva em *As Regras do Método Sociológico*: "... a Sociedade não é uma simples soma de indivíduos... nada poderia se produzir de coletivo se as consciências individuais não existissem, mas essa condição, apesar de necessária, não é suficiente. É preciso, ainda, que essas consciências estejam associadas, combinadas e combinadas de certa forma; é dessa combinação que resulta a vida social e, por conseguinte, é ela que a explica".

As Sociedades de solidariedade mecânica tiveram prioridade histórica, surgiram primeiro as Sociedades coletivas e depois as de solidariedade orgânica. "Constitui uma lei da História que a solidariedade mecânica, que a princípio é única ou quase, perca progressivamente terreno e que a solidariedade orgânica, pouco a pouco, se torne preponderante... a solidariedade permanece mecânica enquanto a divisão de trabalho não se desenvolve..."[492]. Dessa prioridade histórica resultaria a prioridade lógica na explicação dos fenômenos sociais, isto é, "se a solidariedade mecânica precedeu a orgânica, não se podem, com efeito, explicar os fenômenos da diferenciação social e da solidariedade orgânica a partir dos indivíduos... a consciência da individualidade não podia existir antes da solidariedade orgânica e da divisão do trabalho"[493]. Dessa forma, deve-se considerar que o indivíduo nasce da Sociedade, e não ao contrário.

Conforme explicaria o já citado Aron, no estudo da divisão do trabalho social, Durkheim descobriu duas ideias centrais: a prioridade histórica das Sociedades em que a consciência individual está inteiramente fora de si, e a explicação dos fenômenos individuais pelo estado da coletividade, e não o estado da coletividade pelos fenômenos individuais.

O entendimento sociológico sobre a divisão do trabalho difere da compreensão dos economistas. Para Durkheim, trata-se de certa estrutura de toda a Sociedade, de que a divisão econômica ou técnica do trabalho não passa de uma manifestação. A divisão de trabalho é a fonte, senão única, pelo menos principal da solidariedade social. A esse propósito, "já Comte se tinha colocado sob este ponto de vista. De todos os sociólogos que conhecemos, ele foi o primeiro que tinha assinalado na divisão de trabalho outra coisa além de um fenômeno puramente econômico"[494].

É preciso, para Durkheim, pesquisar a causa dessa solidariedade orgânica ou da diferenciação social, que não pode ser explicada pela busca

[492] DURKHEIM, Émile. *Da Divisão do Trabalho Social.*
[493] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*
[494] DURKHEIM, Émile. *Da Divisão do Trabalho Social.*

do prazer ou da felicidade, pois, na falta de melhor conhecimento das sociedades arcaicas, não se pode saber, ou afirmar, que a felicidade aumente com o progresso nas Sociedades modernas. A divisão do trabalho, por ser um fenômeno social, só pode ser explicada por outro fenômeno social, o da combinação do volume e da densidade material e moral da Sociedade. O volume é o número dos indivíduos que pertencem a uma determinada Sociedade. Mas para que o volume se torne causa da diferenciação, é preciso estar combinado com a densidade, tanto material quanto moral, sendo a primeira o número dos indivíduos em relação a uma superfície do solo, e a moral, a intensidade das comunicações e trocas entre os indivíduos. Esse mecanismo é explicado por Durkheim pelo conceito da "luta pela vida", popularizado por Darwin. A diferenciação social permite a um número maior de indivíduos sobreviver, diferenciando-se. Em vez de alguns serem eliminados para que outros sobrevivam, como no reino animal, a solução pacífica da luta pela vida significa não haver mais a competição de um indivíduo contra todos, pois não sendo semelhantes, mas diferenciados, cada um colabora com uma contribuição que lhe é própria para a vida de todos[495]. O indivíduo é a expressão da coletividade. No caso da solidariedade mecânica (Sociedade arcaica), o indivíduo é intercambiável, pois a estrutura da coletividade impõe a cada um uma responsabilidade própria. Mesmo no caso da solidariedade orgânica, o indivíduo continua a ser a expressão da coletividade, pois parte da consciência coletiva está presente na consciência individual. A sobrevivência da própria Sociedade orgânica está diretamente condicionada a imperativos e interditos, a valores e objetos sagrados coletivos, que vinculam as pessoas ao todo social.

A solidariedade social é um fenômeno completamente moral. Quanto mais os membros de uma Sociedade são solidários, tanto mais mantém relações diversas, seja uns com os outros, seja com o grupo tomado coletivamente. O número dessas relações é, necessariamente, proporcional àquele das regras jurídicas que as determinam. A vida social, prosseguiria Durkheim, tende, inevitavelmente, a tomar uma forma definida e a se organizar. O Direito não é outra coisa senão esta organização mesma, no que ela tem de mais estável e de mais preciso. A vida geral da Sociedade não pode se desenvolver num ponto sem que a vida jurídica se estenda ao mesmo tempo e na mesma proporção, o que significa estarem refletidas no Direito todas as variedades essenciais da solidariedade social.

Sendo a solidariedade do âmbito de estudo da Sociologia, e sendo o Direito que reproduz as formas principais dessa solidariedade

[495] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

social, Durkheim classificaria as diferentes espécies de Direito, para buscar, em seguida, as diferentes espécies de solidariedade social que a elas correspondem. Duas seriam as espécies de Direito: o *repressivo*, que pune as faltas ou crimes, e o *restitutivo*, que pune as violações das regras sociais. A solidariedade mecânica é reforçada por um direito repressivo, revelador da consciência coletiva, que quanto mais ampla e forte, maior será o número de atos considerados crimes, isto é, atos que violam a consciência da coletividade. Nesse caso, a sanção toma a forma de repressão. Esta definição de crime deve ser considerada sociológica, relativa e objetiva, posto que a referência é o estado de consciência coletiva da sociedade considerada. A sanção, neste caso, não tem a função de amedrontar ou de dissuadir o responsável pelo ato cometido, mas o de satisfazer a consciência coletiva, que exige reparação na forma de castigo. Na solidariedade orgânica, todos os atos que impeçam seu funcionamento devem ser sancionados por regras do direito restitutivo, que engloba todas as regras jurídicas normativas da cooperação entre os indivíduos (Direito civil, Direito comercial, Direito constitucional, Direito administrativo, etc.). No Direito restitutivo, não se trata de punir, mas de restabelecer o estado de coisas como deve ser, segundo a Justiça. Em consequência, a proporção das leis repressivas decresce à medida que o volume e a densidade das Sociedades crescem.

Durkheim se opõe à ideia de que a Sociedade moderna seja baseada no "contrato", ainda que reconheça sua importância na atualidade, defendendo ser ele um derivado da estrutura da Sociedade. Os contratos individuais se situam dentro de um contexto social que não é determinado pelos indivíduos.

A propósito, Durkheim afirmaria que "todo o direito é público, porque todo Direito é social. Todas as funções da Sociedade são sociais, como todas as funções do organismo são orgânicas[496].

6.23.1.3.1.2.2 O Suicídio

Em 1897, Durkheim escreveu *O Suicídio*, problema social ligado diretamente ao estudo da divisão do trabalho. O autor, apesar de reconhecer como normal a divisão orgânica do trabalho, como favorável a diferenciação dos indivíduos e das profissões, como bom o desenvolvimento da iniciativa pessoal, como válida a regressão da autoridade da tradição e como positivo o predomínio crescente da Razão,

[496] DURKHEIM, Émile. *Da Divisão do Trabalho Social.*

observaria que o Homem não é necessariamente mais feliz nas sociedades modernas que em épocas anteriores. O aumento do número de suicídios seria a evidência de certos traços, talvez patológicos, da organização social atual da vida coletiva.

Durkheim começa pela definição: "chama-se suicídio todo caso de morte que resulta, direta ou indiretamente, de um ato positivo ou negativo praticado pela própria vítima, ato que a vítima sabia dever produzir este resultado" [497]. Em seguida, o estudo, por meio de uma análise comparativa de estatísticas (números absolutos de suicídios, entre 1841 e 1872, na França, Prússia, Inglaterra, Saxônia, Baviera e Dinamarca), procura mostrar não ser o suicídio um acontecimento particular isolado, que o total obtido não é a mera soma de unidades independentes, mas constitui, em si, um fato novo e *suis generis*, que possui sua natureza própria, eminentemente social. O número, como esclareceu o autor, é mais ou menos constante, invariável, para cada um dos países estudados, o que demonstraria que as circunstâncias em que a vida dos povos se desenvolve são sensivelmente as mesmas. A taxa de suicídio é característica de uma Sociedade global, de um país ou região, não variando, portanto, de forma arbitrária, mas em função de múltiplas circunstâncias. Para tanto, Durkheim confrontaria dados da França, Itália, Bélgica, Inglaterra, Noruega, Áustria, Suécia, Baviera, Prússia, Dinamarca e Saxônia, bem como de profissões liberais e agricultura, e de homens e mulheres. Nesses estudos estatísticos se valeria o autor para mostrar a inadequação dos trabalhos do belga Adolphe Quételet, segundo o qual, a regularidade com que certos fenômenos sociais se repetem durante períodos de tempo idênticos poderia ser explicada pela "teoria do homem médio".

Nesse ponto, Durkheim distinguiria o suicídio, fenômeno individual, da taxa de suicídio, fenômeno social. Assim, são inaceitáveis as explicações psicológicas para o fenômeno, ainda que Durkheim aceite uma predisposição psicológica ao suicídio, já que a força determinante é social. Em seus estudos, mostraria que não haveria correlação entre a frequência dos estados psicopatológicos e a frequência dos suicídios. Discordaria de Gabriel Tarde, que considerava a imitação como o fenômeno-chave da ordem social, e, por conseguinte, uma explicação para o suicídio.

Após explicar dois tipos de suicidas, o egoísta e o altruísta, Durkheim trataria de um terceiro, o anômico, tipo característico da Sociedade moderna, devido às condições de vida atual, em que a existência social não é regulamentada pelos costumes. É o suicida revelado pela correlação estatística entre a frequência do suicídio e as fases do ciclo

---

[497] DURKHEIM, Émile. *O Suicídio.*

econômico, isto é, o aumento da frequência dos suicídios nos períodos de crise econômica, mas também de grande prosperidade. Os indivíduos estão em contínua competição uns com os outros, têm grandes sonhos, fazem grandes exigências, mas se sentem frustrados pela desproporção entre aspirações e satisfações. A "anomia", escreveria Durkheim, é um fator regular e específico de suicídio, fonte de um novo tipo de indivíduos, ligados à sociedade pelo modo como ela os regula. O suicida egoísta age por não encontrar mais razão para viver, e se manifesta por um estado de apatia e de desvinculação com a vida; o altruísta, por julgar que essa razão está fora da própria vida e se manifesta pela energia e a paixão, enquanto o suicida anômico considera que a atividade humana está desregrada e sofre e se irrita com isso[498].

Durkheim concluiria que os suicídios são fenômenos individuais, cujas causas reais são essencialmente sociais, isto é, forças sociais que variam de Sociedade para Sociedade, de grupo para grupo, de religião para religião.

No final desse seu livro, como também no *Da Divisão do Trabalho Social,* Durkheim assinala que as sociedades modernas apresentam certos sintomas patológicos, em especial insuficiente integração do indivíduo na coletividade. O temperamento dos povos, como dos indivíduos, reflete o estado do organismo no que ele tem de mais fundamental. Seria preciso uma modificação profunda, grave e rápida da organização social para ter determinado a elevação da taxa de suicídio. Uma Sociedade, escreveria Durkheim, só adquire outras características estruturais mediante uma série de modificações, lentas, quase imperceptíveis e limitadas. As taxas de suicídio resultariam, assim, não de uma evolução regular, mas de um abalo mórbido que pode ter desenraizado as instituições do passado, sem substituí-las, "porque não é em poucos anos que se pode refazer a obra de muitos séculos". Se a causa é anormal, o efeito não pode ser normal; consequentemente, "o que atesta a maré montante dos suicídios não é o brilho de nossa civilização, mas um estado de crise e de perturbação".

Com a intenção de restaurar a integração do indivíduo na coletividade, Durkheim examinaria o grupo família, o grupo religioso e o grupo político, em particular o Estado, mostrando, ao final, que nenhum desses grupos proporciona o contexto social que daria segurança ao indivíduo. O único grupo social que poderia servir de intermediário entre o indivíduo e a coletividade seria a "corporação", definida, de modo geral, como as organizações profissionais de empregados e empregadores.

Como o Homem é movido por desejos ilimitados, a primeira necessidade da Moral e da Sociedade é a disciplina do Homem por uma

[498] DURKHEIM, Émile. *O Suicídio.*

força superior autoritária, que se impõe e atrai, que só pode ser a própria Sociedade.

6.23.1.3.1.2.3 As Regras do Método Sociológico

Na introdução da obra, que data de 1895, Durkheim alegaria que "os sociólogos têm-se preocupado pouco com a caracterização e a definição do método que aplicam ao estudo dos fatos sociais". Na obra de Spencer (*Introdução à Ciência Social*), o problema metodológico é "pura e simplesmente esquecido" e Stuart Mill, que se ocupou longamente desta questão (*Sistema de Lógica*), limitou-se, praticamente, a repetir Comte. Sobre o assunto, "dispomos apenas de um capítulo do Curso de Filosofia Positiva, como único estudo original e importante desta matéria".

O propósito do autor é o de mostrar ser possível uma Sociologia objetiva e científica, conforme o modelo das Ciências naturais, tendo o "fato social" como objeto. Para tanto, o objeto teria de ser específico, diferente do das outras Ciências (Biologia e Psicologia), e observado e explicado de modo semelhante ao que acontece nas outras Ciências. Essa dupla exigência leva às duas célebres fórmulas resumidas do pensamento de Durkheim: os fatos sociais devem ser considerados como coisas e a característica do fato social é que ele exerce uma coerção sobre os indivíduos[499].

A primeira tarefa do sociólogo é procurar definir e classificar as coisas que está estudando, "condição primordial e mais indispensável de qualquer prova ou verificação". A definição de fato social, ao final do primeiro capítulo, é "toda a maneira de fazer, fixada ou não, suscetível de exercer sobre o indivíduo uma coação exterior, ou ainda, que é geral no conjunto de uma dada Sociedade tendo, ao mesmo tempo, uma existência própria, independente das suas manifestações individuais".

Após a definição, o capítulo segundo inicia com a frase de que "a primeira regra, e a mais fundamental, é a de considerar os fatos sociais como coisas", isso é, como realidades exteriores ao indivíduo; "é preciso estudá-los (os fenômenos sociais) de fora, como coisas exteriores, porquanto é nesta qualidade que eles se nos apresentam... esta regra se aplica a toda a realidade social e não admite quaisquer exceções... considerando os fenômenos sociais como coisas, não faremos mais do que nos conformarmos com sua natureza." Em definitivo, a reforma que se trata de introduzir na Sociologia é idêntica, ponto por ponto, à

[499] ARON, Raymond. *As Etapas do Pensamento Sociológico.*

que transformou a Psicologia nestes últimos 30 anos[500]. Comte e Spencer declararam que os fatos sociais eram fatos naturais, mas não os trataram, segundo Durkheim, como coisas.

Na base da experiência de seus antecessores, Durkheim enumeraria as duas regras de uma disciplina rigorosa a fim de evitar os antigos erros: i) afastar sistematicamente todas as noções prévias, como Descartes (dúvida) e Bacon (Teoria dos ídolos) – é necessário que ao determinar o objeto da pesquisa e no decurso das demonstrações, o sociólogo se abstenha de empregar conceitos formados fora da Ciência e pensados em função de necessidades que nada têm de científico; e ii) agrupar os fenômenos segundo suas características exteriores comuns. É importante, no particular, estar atento para a relação entre o conceito vulgar e este conceito científico. A referência usual, comum, a certas noções ambíguas, como família, monogamia, propriedade, crime, etc., deve ser substituída pela consideração de forma objetiva do fato social, sob o ângulo em que ele se apresenta, isolado das suas manifestações individuais[501].

No capítulo terceiro, o autor estabeleceria a distinção entre um fato social "normal" e um "patológico", em que o normal se produz na média das sociedades, consideradas numa fase correspondente de seu processo de desenvolvimento. A generalidade do fenômeno está ligada às condições gerais de vida coletiva. Por exemplo, o crime, que ocorre em todas as sociedades, qualquer que seja seu tipo, deve ser considerado, por sua generalidade e frequência, um fenômeno normal e não como uma doença social, e como tal não há como e por que querer eliminá-lo, ainda que moralmente condenável.

Nos capítulos seguintes, Durkheim trata da questão da causalidade do fenômeno, que deve ser procurada no meio social. É a estrutura da Sociedade em estudo que constitui a causa dos fenômenos, ou seja, "é na natureza da própria Sociedade que devemos procurar a explicação da vida social" ou "a origem primordial de todo processo social de alguma importância deve ser procurada na constituição do meio social interno"[502]. Durkheim não aceita, assim, a explicação histórica, segundo a qual a causa de um fenômeno estaria no estado anterior da Sociedade. Não a considera científica, e alegaria que, se o meio social não explica os fenômenos observados num certo momento da História, não seria possível estabelecer uma relação de causalidade eficiente.

Finalmente, caberia citar o emprego do chamado "método das variações concomitantes" para a prova da explicação:

---

500 DURKHEIM, Émile. *As Regras do Método Sociológico.*
501 DURKHEIM, Émile. *As Regras do Método Sociológico.*
502 DURKHEIM, Émile. *As Regras do Método Sociológico.*

> ...só temos um meio de demonstrar que um fenômeno é a causa de um outro: comparar os casos em que estão simultaneamente presentes ou ausentes e verificar se as variações apresentadas nestas diferentes comparações de circunstâncias revelam que um depende de outro. Quando podem ser provocados artificialmente de acordo com a vontade do observador, o método é a experimentação propriamente dita. Quando, ao contrário, a produção dos fatos não está à nossa disposição, e só podemos abordá-los tal como ocorrem espontaneamente, o método utilizado é o da experimentação indireta, ou método comparativo.

6.23.1.4 A Sociologia na Grã-Bretanha

O acelerado processo industrial britânico, principalmente a partir de meados do século, não fora acompanhado por efetivas medidas sociais que pudessem dar uma resposta adequada à questão social, extremamente grave nos grandes centros urbanos e manufatureiros. A miséria generalizada e as condições de trabalho desregulamentado penalizavam duramente uma classe trabalhadora, criando um crescente fosso entre o proletariado e a classe empresarial. Reformadores sociais (Robert Owen), escritores (Dickens), e movimentos de cunho socialista, como o "Sociedade Fabiana", denunciariam a situação, aumentando a pressão sobre a classe política dirigente, no sentido de buscar soluções para a crise. As principais doutrinas sociológicas da época, positivista e marxista, teriam grande impacto nos meios intelectuais britânicos, porém, no desenvolvimento do pensamento social, nessa segunda metade do século, as duas mais importantes influências seriam a do "utilitarismo" de Bentham, e a da "teoria da evolução" de Darwin.

Surgiriam, então, os primeiros inquéritos sociais, com a aplicação do método quantitativo, próprios das Ciências naturais, procurando nas médias estatísticas descobrir as leis do funcionamento da Sociedade e diagnosticar os problemas, com vistas a introduzir reformas sociais. Afirmava-se, assim, a convicção de que tais métodos poderiam ser estendidos ao estudo das questões sociais.

O pesquisador social Charles Booth (1840-1916) estudou as condições de pobreza em Londres, procedendo a um exaustivo levantamento estatístico, publicado como *Vida e Trabalho do Povo de Londres*, em 17 volumes (1891-1903). Booth, que participava de grupos envolvidos em reformas sociais, escreveria, ainda, *Old Age Pensions and the Aged Poor* (1899) e *Industrial Unrest and Trade Union Policy* (1914).

No trabalho sobre as condições de vida da população pobre de Londres, contou Booth com a colaboração de Beatrice Potter Webb (1858-1943), ativista da Sociedade Fabiana, origem do Partido Trabalhista inglês. Casada com Sidney James Webb (1859-1947), colaborador do *Ensaios Fabianos* (1890), ambos trabalhariam para a criação da hoje famosa Escola de Economia de Londres (London School of Economics) e escreveriam, em parceria, várias obras, como *A História do Sindicalismo Operário* (*History of Trade Unionism*), de 1894, revisto em 1920, e *Democracia Industrial* (1897). Quando o marido foi agraciado com o baronato de Passfield, Beatrice recusou-se a compartilhar o título aristocrático.

A inglesa Harriet Martineau (1802-1876), de família de origem francesa, é considerada a primeira socióloga, autora de diversos artigos, ensaios, biografias, traduções, livros, informações de viagens e sua autobiografia. Jornalista, escreveu mais de 1500 artigos sobre temas da atualidade social. Viveu em Norwich, e depois, em Londres, onde frequentou círculo intelectual do qual participavam, entre outros, Charles Babbage, Thomas Carlyle, George Elliot, Charles Dickens, Charlotte Brontë e Charles Darwin. Nos anos 1832-1834, abandonou o dogma unitário, da tradição familiar, e passou a se interessar pelos assuntos sociais. Visitou os EUA (1834-1836), depois a Palestina e o Egito, e, em 1848, declarou-se ateia. Em seus trabalhos, examinou importantes temas sociais, como classes sociais, religião, suicídio, caráter nacional, crime, direitos da mulher, e relações familiares e entre instituições e indivíduos. Traduziu e resumiu para o inglês, em 1851, o *Curso de Filosofia Positiva*, com o objetivo de divulgar, nos países de língua inglesa, o positivismo de Comte.

O cientista social Walter Bagehot (1826-1877), editor da revista *The Economist* (1866/77), escreveu o livro *A Constituição Inglesa* (1864), considerado um clássico, no qual distinguiu entre as atuantes instituições do Governo e a decadente Casa dos Lords, e *Física e Política* (1875), no qual apresentou uma análise da inter-relação entre as Ciências Sociais e as Naturais.

John Stuart Mill (1806-1873), filósofo, sociólogo e economista, foi um dos eruditos mais importantes no meio intelectual britânico de meados do século. Precoce, já conhecia latim e grego e lia os clássicos (Xenofonte, Plutarco, Heródoto, Platão, Demóstenes) aos dez anos de idade. Estudou História e Aristóteles aos 12 anos, e pouco depois, Adam Smith e Ricardo. Educado pelo pai para ser um gênio intelectual que lideraria a causa do utilitarismo de Jeremy Bentham (1748-1832), Stuart Mill criaria, aos 17 anos de idade, uma sociedade para debater temas à luz da filosofia utilitarista. Publicaria artigos em diversos jornais e adquiriria a *Westminster Review*,

em 1836, na qual escreveria artigos em favor de reformas políticas e da ética de Bentham. Membro do Parlamento (1865-1868), foi favorável aos direitos da mulher, ao sufrágio universal e a uma política racional em relação à Irlanda. Suas obras mais importantes foram *Sistema de Lógica* (1843), sobre método indutivo nas Ciências e sua aplicação nas Ciências naturais e sociais; *Princípios de Economia Política* (1848); *Sobre a Liberdade* (1859), em que defende a liberdade de pensamento e de expressão e a limitação do poder do Estado; *Utilitarismo* e *Considerações sobre Governo Representativo*, ambos de 1861.

O mais importante sociólogo da Grã-Bretanha, no século XIX, foi, definitivamente, Herbert Spencer (1820-1903), cuja teoria sociológica, de muita influência nessa época, não teria, no entanto, muita repercussão no século XX. Spencer não obtivera adequada instrução formal. Não foi um erudito, como Stuart Mill, sendo precário e superficial seu conhecimento de línguas e História. Não ingressou em curso superior, mas, em 1837, foi contratado como engenheiro de ferrovia, e, pouco depois, ingressaria no jornalismo, escrevendo, de 1848 a 1853, para a revista semanal *The Economist*, época em que defenderia opiniões próximas às do utilitarismo. Em 1851, publicaria seu primeiro livro, *Estática Social ou Condições Essenciais para a Felicidade Humana*, no qual trataria das condições sociais, da liberdade humana e das liberdades individuais, com base na teoria evolucionista de Lamarck.

Independente financeiramente, com a herança recebida de seu tio, Spencer passaria a se dedicar exclusivamente a escrever, principalmente nas áreas da Filosofia e da Ciência. Em 1853, publicaria *Princípios de Psicologia*, que não teve repercussão igual à do livro sobre Estática Social. Em seguida, já de saúde frágil, Spencer sofreria de perturbações nervosas, o que o obrigaria, após cerca de dois anos de tratamento, a reduzir sua atividade intelectual a poucas horas de trabalho diário e a evitar vida social e aparições públicas. Apesar dessas dificuldades que enfrentava, sua obra publicada é muita extensa, e teve muita divulgação e influência no meio cultural inglês da época, chegando mesmo, seu prestígio, a se igualar ao de Darwin, de quem discordou em alguns aspectos de sua *Teoria da Origem das Espécies*.

Seus livros mais representativos foram: *Esfera Apropriada de Governo* (1843); *Estática Social* (1851); *Estudo de Sociologia* (1873); *Sociologia Descritiva* (1873/81); o sistema de Filosofia sintética com os livros *Primeiros Princípios*, em 1 volume (1862), *Princípios de Biologia*, em 2 volumes (1864-1867), *Princípios de Sociologia*, em três volumes (1874-1893) e *Princípios de Ética*, em dois volumes (1879-1893); *O Homem versus o Estado* (1884); *Fatores da Evolução Orgânica* (1893); e *Autobiografia* (1904).

Spencer é o chefe da chamada "Escola evolucionista", em que a Biologia é tomada como exemplo para o estudo da Sociedade humana. A concepção de Spencer foi influenciada pela Sociologia de Comte, mas não foi seu seguidor ou adepto. O próprio Spencer explicaria (1864) a diferença entre ambos, ao esclarecer que Comte se interessava pelo progresso das ideias humanas, pelo desenvolvimento conceitual, pela filiação das ideias, e tratou da ordem e do progresso social, enquanto seu objetivo seria o de interpretar as mudanças na evolução das estruturas e das instituições sociais.

A evolução dos fenômenos sociais, como os demais fenômenos, estaria sujeita à aplicação universal das leis naturais, pelo que a Sociologia, para Spencer, só se tornaria uma Ciência quando e se baseada na lei natural. A evolução se aplicaria a tudo neste Universo: ao Homem, à Sociedade, à Moral, aos fenômenos naturais, ao conhecimento.

Para Spencer, o agregado social e orgânico é caracterizado pelo progressivo aumento em tamanho, pelo desenvolvimento do mais simples ao mais complexo, do homogêneo ao heterogêneo, do mais desorganizado ao mais organizado, o que significa progresso. A evolução ocorreria naturalmente, sem solução de continuidade. As Sociedades, como os corpos vivos, começam como os germes, e seu crescimento é sempre acompanhado por um aumento na complexidade de suas estruturas, ou seja, por um processo de integração. Um organismo ou uma unidade social para sobreviver na luta pela existência deve ser acompanhado por uma progressiva diferenciação de estrutura e funções. Os animais, que estão baixo na escala da evolução, têm poucas partes diferenciáveis relativamente homogêneas, o que acontece, também, no início, com a Sociedade que, à medida que as unidades sociais aumentam em número e grau, aumentam, também, as divisões e subdivisões, isto é, sua complexidade.

6.23.1.5 A Sociologia em Outros Países

A emergência da Segunda Revolução Industrial, na segunda metade do século XIX, foi a principal causa determinante da chamada "questão social", que afetaria a Sociedade nessa fase do sistema capitalista. Sem uma adequada estruturação social e política, o Estado e o Poder Público se encontravam incapacitados de dar uma resposta urgente e apropriada para enfrentar a grave crise.

O impacto dessa situação nos meios intelectuais e nos movimentos sociais contribuiria, decisivamente, para o desenvolvimento da Sociologia, recém-criada exatamente com o propósito de tratar cientificamente dos fenômenos sociais e descobrir suas leis.

O grande desenvolvimento da nova Ciência na segunda metade do século XIX ocorreu, principalmente, na França e na Grã-Bretanha, onde despontaram, respectivamente, os vultos de Durkheim e Spencer, ambos fortemente influenciados pela doutrina de Augusto Comte. Ao mesmo tempo, a penetração da doutrina marxista nos meios intelectuais, políticos e trabalhistas evidenciaria a relevância da análise científica da realidade social da época. Pesquisadores de outros países, como da Alemanha, da Itália, da Bélgica e dos EUA, contribuiriam, igualmente, para os primeiros avanços nas investigações sociológicas, inclusive com a fundação de instituições e publicações especializadas. Em outros países da Europa e da América Latina, haveria um crescente interesse pelas questões sociais, antecedente importante para o desenvolvimento do estudo da Sociologia nessas regiões no século XX.

Nessas circunstâncias, filósofos, reformadores sociais e sociólogos, pertencentes a diferentes escolas, e adeptos de diferentes doutrinas sociais, elaborariam análises, procederiam a investigações e levantamentos de campo, e proporiam mudanças institucionais no amplo âmbito social (relações capital/trabalho, regime político, sufrágio universal, sistema educacional, relações Estado/Religião, condições de trabalho, liberdade de expressão, igualdade jurídica dos sexos e das raças, etc.).

Na Áustria, dois nomes se sobressaíram no estudo sociológico: Ludwig Gumplowicz (1838-1909), "darwinista social", autor de *Raça e Estado* (1875), *Princípios Gerais da Sociologia* (1899), *História de Teorias do Estado* (1905) e *Luta das Raças* (1909); e Gustav Ratzenhofer (1842-1904), autor de *Essência e Objetivo da Política* (1893) e *Percepção Sociológica* (1899).

Dois autores belgas merecem uma referência especial: Adolphe Quételet (1795-1874), astrônomo e estatístico, pioneiro na utilização da estatística na Física social, e do método quantitativo nas Ciências Sociais, desenvolvendo o conceito de homem médio, organizou a Comissão Central de Estatística (1841) e o primeiro Congresso Internacional de Estatística. Rejeitou Quételet explicações teológicas para a regularidade de certos fenômenos sociais (crimes, suicídios), apontando como suas causas as condições sociais. É autor de *Sobre o Homem e o Desenvolvimento de suas Faculdades* (1835) e de *Do Sistema Social e das Leis que o Regem* (1848). Guillaume de Greef (1842-1924), professor de Ciências Sociais na Universidade de Bruxelas, escreveu, entre outras obras, *Introdução à Sociologia* (1886/89), *As Leis Sociológicas* (1893), *Evolução das Crenças e das Doutrinas Políticas* (1895), *Sociologia Geral Elementar* (1895) e *Transformismo Social* (1895).

A História da Sociologia do século XIX registra, nos Estados Unidos da América, vários estudiosos e pesquisadores da área social, e iniciativas, como a criação do Departamento de Sociologia, em 1892, na Universidade

de Chicago, por Albion Small, e, pouco depois, em vários outros centros universitários, e a fundação do *American Journal of Sociology*, em 1895, que atestam a receptividade da comunidade intelectual do país à nova Ciência.

Nesse sentido, devem ser assinaladas as contribuições de Henry Charles Carey (1793-1879), autor de *Princípios de Economia Política* (1837-1840), *Princípios de Ciência Social* (1858-1859) e *A Unidade da Lei* (1872); Lewis Henry Morgan (1818-1881), evolucionista, escreveu *Sociedade Antiga* (1864) e *Casa dos Aborígenes Americanos* (1865); William Graham Sumner (1840-1910), estudioso dos costumes e do folclore, cujas forças tornariam inúteis quaisquer reformas sociais, escreveria *O que as Classes Sociais devem entre si* (1883), *Folkways* (1907), e, em colaboração com Albert Keller, *Ciência da Sociedade* (concluído em 1927); Lester Frank Ward (1841-1913), considerado o pai da Sociologia americana e chamado de "Aristóteles americano", foi autor de *Sociologia Dinâmica* (1883), *Fatores Psíquicos de Civilização* (1893), *Outlines of Sociology* (1898), *Sociologia Pura* (1903) e *Sociologia Aplicada* (1906), e fundador, e primeiro presidente, da Sociedade Americana de Sociologia (1906). Ward sustentava que, uma vez identificadas, as leis sociais poderiam ser controladas a serviço da Sociedade; Franklin Henry Giddings (1855-1931), professor de Sociologia na Universidade de Colúmbia (1891), publicou *Princípios de Sociologia* (1896) e *Elementos de Sociologia* (1898), além de *Estudos na Teoria da Sociedade Humana* (1922) e *Estudo Científico da Sociedade Humana* (1924); Albion Woodbury Small (1854-1926) que, além de criar o primeiro Departamento de Sociologia numa Universidade americana (Chicago) e editar a primeira revista especializada em Sociologia do país, escreveu *Sociologia Geral*, em 1905; o norueguês-americano Thorstein Veblen (1857-1929), economista e sociólogo, autor de diversas obras sobre indústria e organização industrial e empresarial, e de *A Teoria da Classe Ociosa* (1899); e Charles Horton Cooley (1864-1929), professor na Universidade de Michigan, autor de *A Natureza Humana e Ordem Social* (1902), *Organização Social* (1909) e *Processo Social* (1918).

Os países da América Latina (Brasil, México, Chile, Peru, Colômbia, Venezuela, Argentina) foram influenciados, principalmente, pelas doutrinas positivista de Comte e evolucionista de Spencer, os quais serviriam de modelo e inspiração para os movimentos políticos e sociais da segunda metade do século XIX, cujos problemas eram analisados à luz dessas duas principais doutrinas. A Sociologia só viria a se desenvolver nesses países a partir dos anos 1930. A Sociologia no Brasil, Argentina e México será estudada, desde meados do século XIX até a atualidade, no terceiro volume deste trabalho.

Fim do Volume II Tomo II

Formato	15,5 x 22,5 cm
Mancha gráfica	12 x 18,3cm
Papel	pólen soft 80g (miolo), cartão supremo 250g (capa)
Fontes	Verdana 13/17 (títulos),
	Book Antiqua 10,5/13 (textos)

Carlos Augusto de Proença Rosa, nascido no Rio de Janeiro em 4 de setembro de 1931, formou-se pelo Instituto Rio Branco em 1954. Em seus quarenta anos de serviço ativo no Itamaraty trabalhou na Secretaria de Estado nos setores de Comunicações, Político e Produtos de Base, chefiou o Departamento Econômico por sete anos e, no exterior, serviu nas Embaixadas em Lima, Washington, Londres, Pequim, Cairo, bem como Dublin e nas representações diplomáticas junto à ALALC (Montevidéu) e às Nações Unidas em Viena (UNIDO, AIEA). Proença Rosa abriu as Embaixadas do Brasil em Pequim e Dublin e foi promovido a Embaixador em março de 1979.

Participou de um grande número de conferências internacionais nas áreas de comércio, energia, ciência e tecnologia, finanças e produtos de base em diversos foros multilaterais (UNCTAD, GATT, FMI, BID, AIEA, UNIDO, CEPAL, ALALC, Grupo dos 77), integrou a delegação brasileira à Reunião Internacional de Cooperação e Desenvolvimento (Cancun, 1981) e atuou como delegado em negociações de política econômica, energética, científica e de transportes, tendo sido também representante do Itamaraty no CONMETRO.

O Tomo II trata exclusivamente da evolução do conhecimento científico no século XIX, ainda com a Europa como principal centro de formulação teórica e de pesquisa laboratorial. Esse período se caracteriza pelo extraordinário progresso da pesquisa em todos os ramos da Ciência, como em Matemática (Teoria dos Números, Teoria dos Grupos, Geometria não euclidiana, Topologia), Astronomia (Astrofísica, Sistema Solar), Física (Termodinâmica, Eletromagnetismo, Radioatividade), Química (Tabela dos Elementos, Química Orgânica, Química Industrial). Tais avanços em Ciência Teórica e Aplicada possibilitariam a Segunda Revolução Industrial, de grande repercussão econômica e social, e a afirmação do pensamento científico. É nesse período que se estruturaria a Biologia (Microbiologia, Embriologia, Teoria Celular, Evolução) e seria criada a Sociologia. Diante dos evidentes benefícios resultantes das pesquisas científicas para a Sociedade, sua atividade seria prestigiada pelos setores públicos e privados dos países industrializados, os quais reconheceriam seu valor estratégico.





FUNDAÇÃO
ALEXANDRE
DE GUSMÃO

www.funag.gov.br

